

M O D E L O B A L A N C E

Calibración

José R. Hernández A.

AJUSTE Y CALIBRACION DEL MODELO

" BALANCE "

José Rafael Hernández Amador.

Universidad Central de Venezuela
Departamento de Meteorología e
Hidrología..

Caracas, 6 de Enero de 1979..

AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha podido llegar a su fin, por la concurrencia de esfuerzos de mucha gente; especialmente:

Ing. L. Hidalgo

Ing. Milagros Díaz

J.R.H.

PRESENTACION

Este trabajo parte de la experiencia y actividad anterior de otras personas. Se basa en el modelo del Ing° L. HIDALGO, - aplicado a la cuenca del río Escalante y a la corrida experimental realizada, con una estación, por los Ingenieros RICARDO PETIT y ANGELA GONZALEZ.-

J. RAFAEL HERNANDEZ

Enero de 1.979

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
GENERALIDADES SOBRE MODELOS	3
NOCIONES SOBRE EL CICLO HIDROLOGICO	4
MODELADO HIDROLOGICO EN GENERAL	8
EXPLICACION DEL TRABAJO REALIZADO	12
DATOS DE PRECIPITACION	25
EL MODELO "BALANCE"	27
- DIAGRAMA DE FLUJO	28
- MANUAL DE USUARIO	32
CALIBRACION DEL MODELO BALANCE	44
- CORRIDAS	45 a 49
- GRAFICOS 8 a 18	50 a 71
OBSERVACIONES ESPECIALES	72
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
GLOSARIO DE TERMINOS	74
BIBLIOGRAFIA	76

INTRODUCCION

El motivo de este trabajo es, calibrar el modelo "balance" sobre la cuenca del río Escalante hasta "La Ferreira". A los efectos de justificar su importancia, se tomó textualmente el siguiente párrafo, de un artículo en el cual su autor se expresa en forma adecuada y sintética al respecto:

" Diseñar es conformar un sistema físico el cual cumplirá un propósito determinado, o llenará una necesidad dada. Un sistema no está bien diseñado, a menos que lleve a cabo satisfactoriamente el servicio que se le asignó. El planificador que trabaja con cuencas, los sistemas hidrológicos de la naturaleza, sin embargo, no tiene manera de probar sus diseños en prototipo antes de la implementación. Consecuentemente, él debe imaginar alguna otra manera de predecir cómo responderá su diseño a una gran variedad de estímulos, El ingeniero hidrólogo ha tenido que modelar.

Los hidrólogos han hecho amplio uso de las cuencas experimentales.

Algunas han sido áreas bien instrumentadas, pero relativamente pequeñas, expuestas al clima de la región. Otras han sido construidas dentro de laboratorios donde se puede controlar la precipitación y otros factores del tiempo. Sin descontar en ningún sentido la contribución de esta clase de modelado de cuencas, y de hecho haciendo uso de muchos descubrimientos obtenidos de tales estudios, el alcance de este artículo define el modelado de cuenca en otra forma: la simulación de la secuencia de los escurrimientos mediante el uso de una computadora digital. La meta del modelado de cuenca definido de ese modo, es simular una secuencia continua de escurrimientos durante un período de tiempo preseleccionado a partir de datos climatológicos para una cuenca especificada por su situación geográfica o sus características físicas. El medio utilizado es la combinación de una serie de ecuaciones que representan matemáticamente los procesos hidrológicos que ocurren realmente dentro de la cuenca en un programa para computadoras, el cual producirá una serie de números que repre-

sentan caudales, a partir de otra serie de números que representan precipitación. Mientras más se parezcan los escurrimientos simulados al registro medido, más valioso es el modelo." (1)

En nuestro país, la ausencia de datos y la necesidad de proyectos que respondan a sus prioridades, reclaman la utilización de modelos hidrológicos que se adapten a las realidades hidrometeorológicas e hidrogeológicas existentes.

Este modelo "Balance" es sencillamente un intento de adaptarlo a una realidad.

Anteriormente fue calibrado tomando como base los datos de una estación, con el presente modelo se trabajó con un grupo de estaciones repartidas en toda la cuenca y se aspira a que los resultados superen las iniciativas precedentes.

GENERALIDADES SOBRE MODELOS

Antes de atacar los modelos hidrológicos, y más específicamente el modelo Balance, se expondrá en forma sintética algunas nociones elementales sobre los mismos.

Sistema

Podemos definirlo como una parte aislada del mundo real, que guarda una cierta autonomía en su funcionamiento, si bien establece relaciones con su medio exterior.

Existe pues en todo sistema, relaciones internas entre los elementos del mismo (unos con otros), y relaciones externas con los elementos que perturban dicho sistema.(2)

Modelo

Un modelo de un sistema es otro sistema cuyos elementos y relaciones se corresponden con los del sistema original en relaciones de correspondencia que no son uno a uno.

Podemos entonces tomar un sistema cualquiera, del que conozcamos sus elementos externos e internos, y sus relaciones y realizar un modelo que facilite el estudio de dicho sistema.(IBID)

Simulación

El proceso de investigación y reproducción indirecta (sistema modelo) del comportamiento del sistema analizador, es lo que podemos denominar simulación. (IBID)

Modelos físicos

Los modelos físicos son los más usados en hidráulica, y constituyen un prototipo físico en donde se simulan situaciones para estudiar los resultados. Los modelos analógicos son artificios mecánicos o eléctricos que se constituyen con características equivalentes a las del sistema estudiado, que responden a una relación matemática de correspondencia. (IBID)

Modelos digitales

Los modelos digitales constituyen un método nuevo y más práctico que los anteriores para el estudio del desarrollo de su sistema.

Los modelos digitales son también representaciones matemáticas,

las cuales pueden contener parámetros que pueden ser alterados para representar cualquier condición deseada en el sistema.

Con el uso de la gran velocidad de análisis de datos de los computadores digitales, es posible lograr resultados de un modelo digital en unos pocos minutos, experiencia que llevaría muchísimo mas tiempo en cualesquiera de los modelos anteriores. (IBID)

Modelos determinísticos

Son modelos que parten de considerar el fenómeno a reproducir, como estrictamente dependiente de parámetros medibles y verificables; variables que tienen componentes no provenientes del azar sino de leyes, y relaciones muy concretas.

Modelos estocásticos

Son modelos donde concurren diversos parámetros teniendo componentes aleatorias donde el azar participa.

NOCIONES SOBRE EL CICLO HIDROLOGICO

Para la implementación de un modelo hidrológico es importante tener un conocimiento cabal del ciclo hidrológico.

A continuación se explicará muy sucintamente y en forma bastante simplificada en que consiste dicho ciclo.

El agua presente en océanos, ríos, lagos, etc, se evapora por la acción solar convirtiéndose en vapor, el cual es transportado por corrientes de aire, y bajo las condiciones apropiadas, es condensado y forma las nubes, las cuales pueden luego originar precipitación. La precipitación que cae hacia la tierra se dispersa en diversos caminos (Fig.1), la mayor parte, es temporalmente retenida en el suelo, cerca de donde cae y luego regresa a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Otra porción encuentra cauce, sobre y entre el suelo hasta formar una corriente, y otra penetra mas profundamente en él, pasando a formar parte del agua subterránea. Por gravedad, tanto las corrientes como el agua subterránea, se mueven hacia lugares más bajos hasta desembocar de nuevo en el océano donde se completa el ciclo.

Comunmente, en los estudios hidrológicos, sólo nos interesa

la parte del ciclo hidrológico comprendida entre el momento en que la lluvia cae en la tierra, hasta el momento en que el agua pasa por un determinado punto en una corriente, llamado por algunos autores "El ciclo de la escorrentía"(3). Simplificando este ciclo, podemos representarlo de manera esquemática según lo indica la figura 2.

La lluvia al caer, es interceptada por la vegetación o por el suelo, ésta última pasa a formar parte de la humedad del suelo o se mueve por cualquiera de los tres caminos indicados, formando entonces los llamados "Gasto superficial" y "Gasto subterráneo". Durante todo el tiempo del proceso, el agua está sujeta a la evaporación y a la evapotranspiración. Supongamos que tenemos una lluvia uniforme, durante un período suficientemente largo de tiempo, en la Figura 3 se presenta esquemáticamente la disposición del volumen de dicha lluvia a lo largo del tiempo, suponiendo condiciones secas en la zona antes de ella. La parte punteada de la figura representa la porción de la precipitación total, que eventualmente se convertirá en escorrentía. La precipitación sobre el cauce del río, es el único incremento que sufre su caudal al comienzo de la tormenta, a medida que el río crece, crece su superficie y por lo tanto aumenta el volumen que cae directamente sobre el cauce. El porcentaje de interceptación es alto al comienzo de la lluvia, pero la capacidad de retención de la vegetación, es excedida bastante rápido, hasta alcanzar un valor igual a la intensidad en que el agua es evaporada de las plantas.

La capacidad de almacenamiento de una hoya debido a depresiones tiene valores altos al comienzo de la tormenta y decrece rápidamente al irse llenando las pequeñas depresiones, continúa decreciendo a medida que prosigue la tormenta y se aproxima a cero para valores altos de ésta. El valor de la capacidad de almacenamiento por depresión de una hoya depende de muchos factores, entre ellos, pendiente del terreno, geología, área de la hoya, conformación del suelo y otros. En la figura se presenta el efecto de almacenamiento por depresión como pérdidas, pero el agua así almacenada puede eventualmente infiltrarse o transformarse en gasto medio.

Excepto en tormentas de muy alta intensidad, gran parte de la deficiencia de humedad del suelo se satisface antes de que ninguna apreciable escorrentía ocurra. Dependiendo de las características del suelo, el agua que se infiltra y no es retenida como humedad se puede

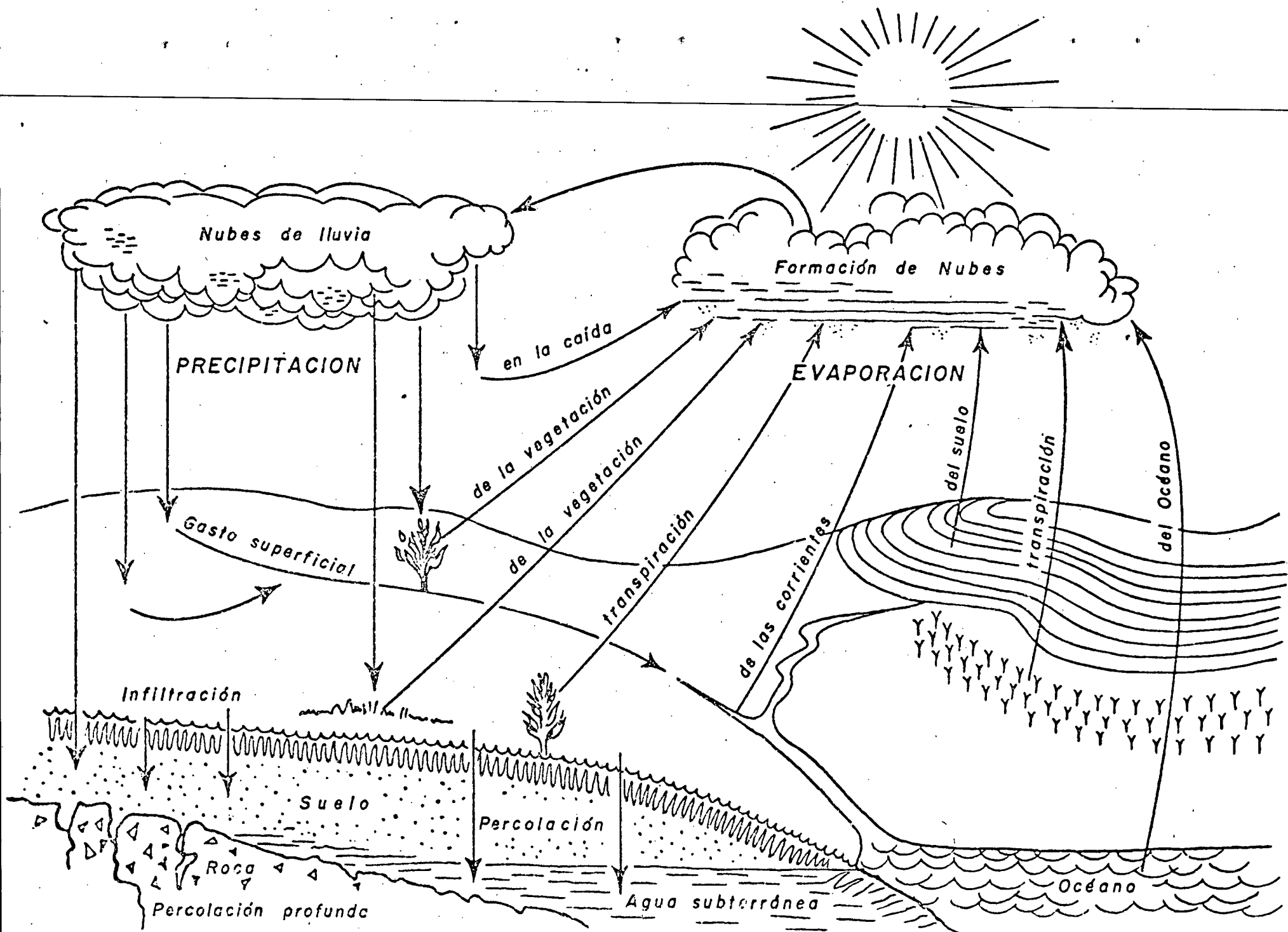


Fig.1.- Una representación descriptiva del Ciclo Hidrológico

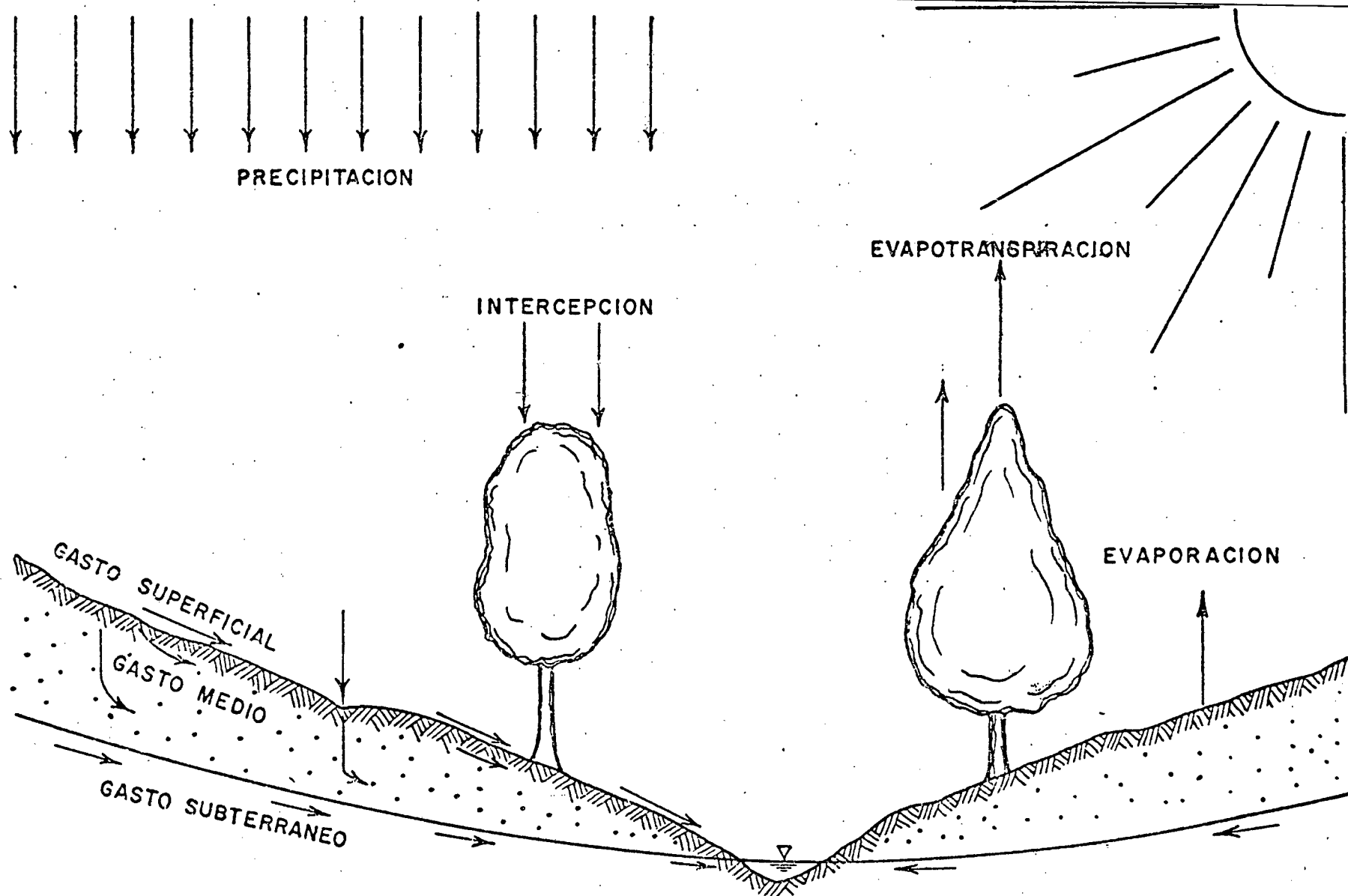


Fig. 2.- Representación descriptiva del ciclo de escorrentía

mover hacia el río como gasto medio o penetra hacia la mesa de agua. La Figura 3 muestra un descenso gradual en la contribución del gasto medio, pero esto no es verdad en todos los casos, por ejemplo, en terrenos con capas superficiales muy permeables, tales como rocas sueltas o granzón, el volumen del gasto medio puede superar el gasto superficial.

El porcentaje del gasto superficial comienza en cero, crece lentamente al principio, aumentando luego, hasta que eventualmente toma un valor más o menos constante.

La Figura 3 sólo ilustra una entre un infinito número de la posible distribución de la lluvia, pues para cada punto de la hoya, la magnitud relativa de cada una de sus partes puede ser completamente diferente. Un cambio en la intensidad de la lluvia o una condición inicial diferente puede hacer variar también dichas cantidades.

MODELADO HIDROLOGICO EN GENERAL

Como un medio de presentar en orden conceptual al modelo hidrológico general tal como se definió anteriormente, uno podría observar el esquema de la contabilidad de humedad mostrado en la Figura 4. Los rectángulos representan las clasificaciones del almacenamiento de humedad. Las flechas representan procesos por intermedio de los cuales la humedad se mueve desde un tipo de almacenaje hasta otro. La línea vertical desde la precipitación hasta el flujo subsuperficial representa la manera en que el agua pasaría hacia abajo a través del material grueso debido a la fuerza de gravedad. Cuando la precipitación acumulada es impedida de moverse hacia abajo a lo largo de esta ruta por alguna limitación tal como la permeabilidad del suelo, ésta comienza a ser retenida en los rectángulos superiores; en forma creciente, a medida que se alcanzan las limitaciones de capacidad de almacenamiento, el agua debe moverse lateralmente hacia la corriente de agua y fuera de la cuenca. Simultáneamente, la energía de radiación y las necesidades de humedad de la vegetación, extraen agua de todos los niveles de almacenaje en la cuenca y la devuelven a la atmósfera.

Muchos modelos hidrológicos valiosos, buscan solamente simular los gastos durante los eventos de máximas crecientes, usualmente especificados por la frecuencia. Otros modelos buscan simular los gastos durante algún incremento de tiempo grande, tal como mensual, para estu-

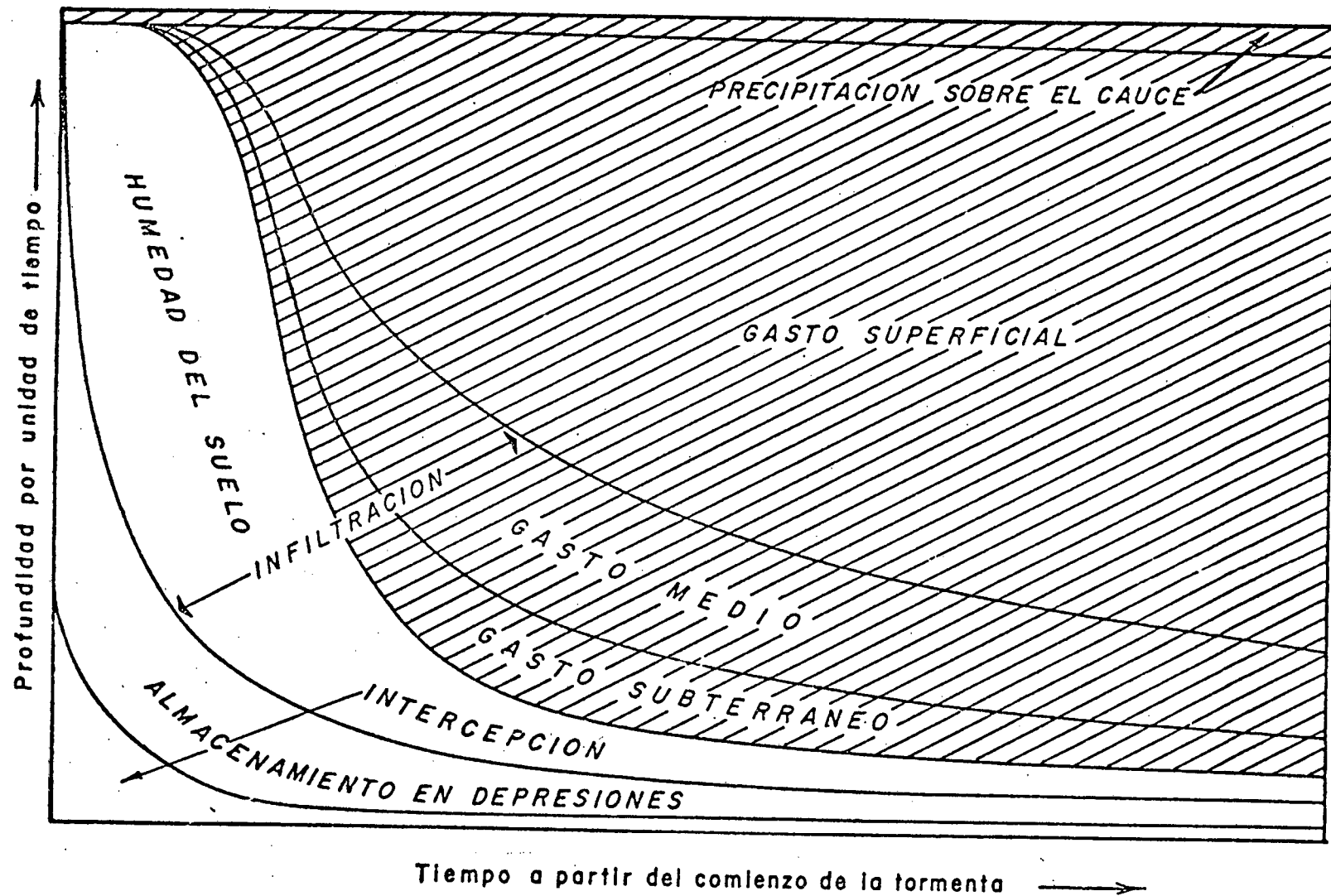


Fig. 3 - Diagrama esquemática de la disposición de una tormenta.

dios de rendimiento de embalses. Nuestra atención se dirige hacia un modelo hidrológico general capaz de simular secuencias de gasto durante un lapso de tiempo largo y para intervalos de tiempo cortos. Por ejemplo, una salida podría ser los gastos simulados diarios.

Por lo general, los modelos hidrológicos parten de:

1.- Datos climatológicos registrados, principalmente precipitación y evaporación

2.- Características medibles de la cuenca (p.e., el área).

3.- Parámetros los cuales se sabe que varían en magnitud entre las cuencas pero no en la formulación del modelo, relacionada cuantitativamente a propiedades específicas medibles de la cuenca. La lista precisa de parámetros ha cambiado a medida que las ecuaciones usadas para modelar procesos específicos han sido variadas a través de los años por diferentes individuos.

Cuando un usuario aplica el Modelo a una cuenca, tiene que recolectar los datos climatológicos necesarios a partir de los registros históricos, medir las características de la cuenca necesarias, asignar los valores apropiados para los parámetros y ajustar estos valores de los parámetros por tanteo hasta que está satisfecho con el grado de parecido entre los registros simulado y registrado .

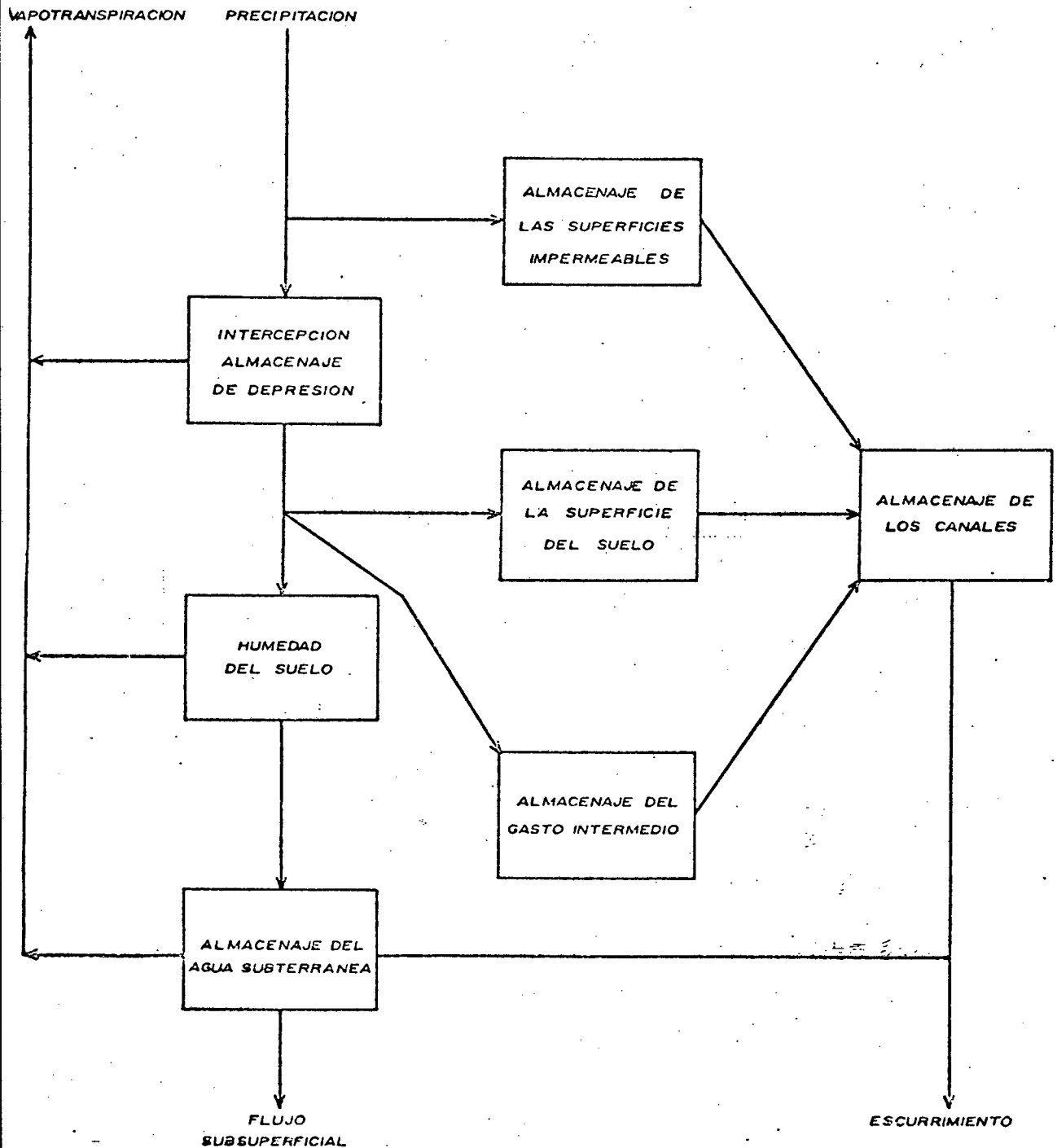
La calibración del modelo consiste en el ajuste de la relación entre los parámetros de manera que los valores simulados sean los mas cercanos a los datos reales.

La calibración por tanteo sigue siendo un arte. Requiere ingenio, familiaridad con el modelo, y cierto entendimiento de la sensibilidad de los gastos simulados a ajustes específicos.

Para realizar la calibración, es importante conocer el modelo, y el efecto que promueve la alteración de cada parámetro.

FIGURA 4

CONTABILIDAD DE LA HUMEDAD EN UN MODELO HIDROLOGICO GENERAL



EXPLICACION DEL TRABAJO REALIZADO

El trabajo realizado anteriormente, tomó como fuente de datos de precipitación, los provenientes de una sola estación (Caño Negro), asumiéndolos como valores de precipitación bajo la cuenca (Gráfico 1). Para el presente trabajo, se trata de realizar la corrida del Modelo, partiendo de los datos obtenidos a partir de una red de estaciones que son fuentes para el cálculo de la lluvia media bajo la cuenca.

Como punto de partida, se tomó una red de estaciones que incluyó todas las registradas actualmente en el área (Listado 1). Se procedió al trazado de los polígonos de Thiessen y al cálculo de los pesos de cada estación respecto al conjunto. Al obtener las distintas áreas, se optó por despreciar algunas estaciones que pesan muy poco y sólo complican el cálculo (ver Tabla I y Mapa 1).

Con la nueva red de estaciones, se procedió a la búsqueda de los datos (ver Tabla II, Mapa 2 y Cuadro Nº1) . Para esta red que se asumió como la mas conveniente, se encontró ausencia de datos para algunas estaciones en el mes de Diciembre y una serie de datos englobados por resolver. Se procedió a desenglobar los datos estableciendo una correlación entre los porcentajes del total para el período problema en una estación con datos registrados y los datos englobados de la otra estación que se asumió con régimen semejante. Al encontrar los porcentajes respecto al total, basta con multiplicar los mismos por el englobe y dividir entre 100 para obtener la precipitación estimada para cada día. La suma de todas ellas para el período problema debe ser igual al valor total englobado.

En el caso de las ausencias de datos, se obvió la estimación de los mismos para cada estación. Se trazó una nueva red (ver Tabla III y Mapa 3) compuesta por estaciones que sí poseen los datos completos; se calculó la lluvia media para esa red en los meses de Noviembre y Diciembre, y para la red que tiene insuficiencia de datos se hizo el cálculo en el mes de Noviembre.

Se hizo una acumulación de los valores de lluvia media, y se representaron gráficamente los puntos en papel milimetrado (en el eje de las ordenadas, el cálculo correspondiente a una red, y en el eje de las abcisas, el correspondiente a la otra), obteniéndose una recta que permite extrapolar los valores de lluvia media para la red que se esco-

GRAFICO 1

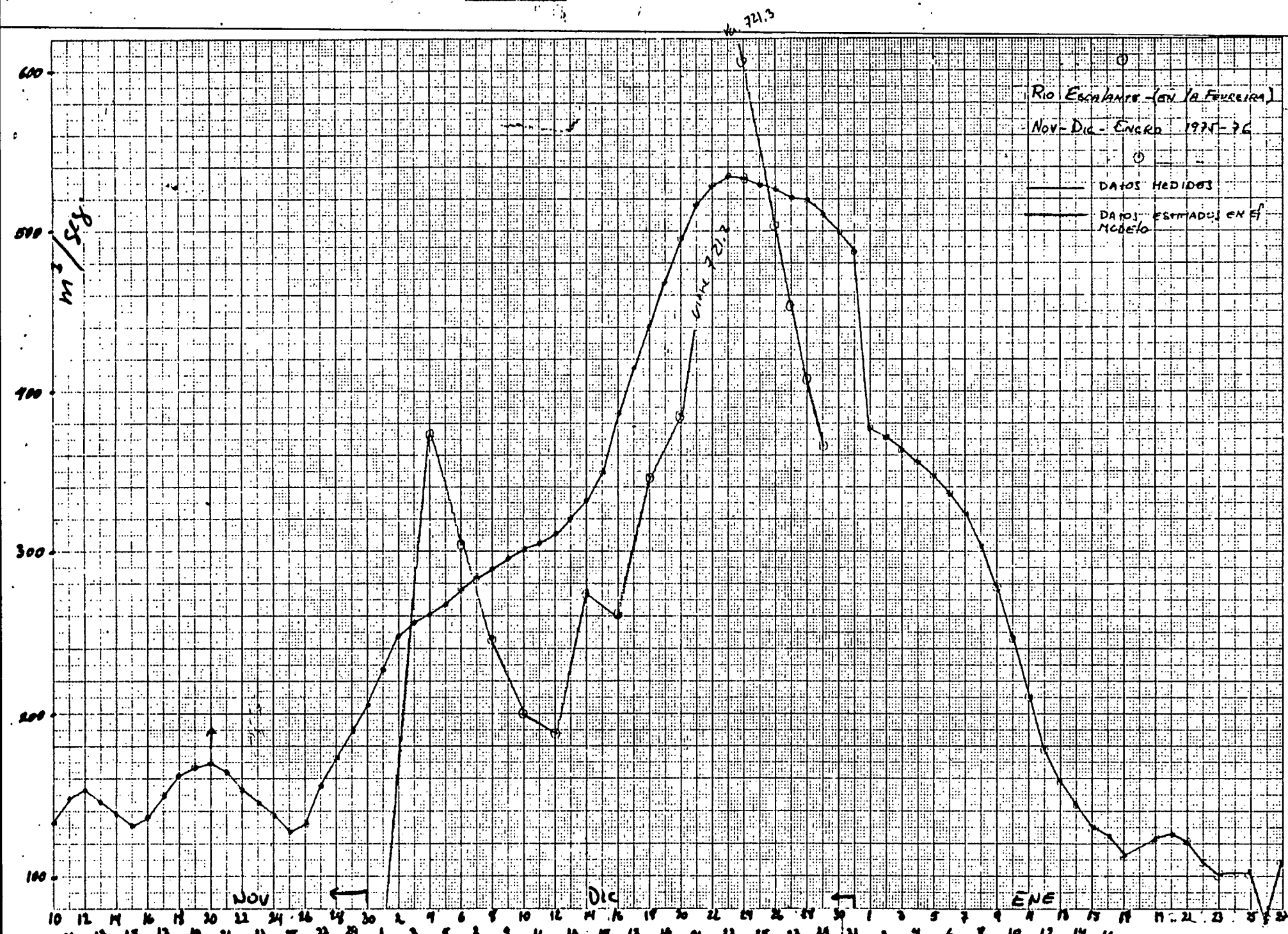


GRAFICO 1

LISTA I

LISTADO DE ESTACIONES REGISTRADAS EN LA CUENCA

DEL RIO ESCALANTE *

NOMBRE DE LA ESTACION	SERIAL	Z.ADM	EDO	ORG	T.EST	LATITUD	LONGITUD	INSTLD	ELIMDA	MSNM
CAÑO LA YUCA	3015	5	ZU	OP	PR	08-44	72-09	01-54	01-55	
CAÑO NEGRO	8052	6	TA	OP	C3	08-29-58	71-50-50	04-53	-	151
CARACOLI	3025	5	ZU	OP	PR	08-43-37	71-43-08	02-53	-	40
CONCHA	2095	5	ZU	OP	PR	09-01-35	71-44-43	11-52	-	103
COSTA RICA-EL CONUCO	3012	5	ZU	OP	PR	08-43-	72-08-	01-53	02-54	
EJIDO	3043	7	ME	OP	PC	08-32-58	71-14-10	10-48	07-65	1200
EJIDO-MAC	3044	7	ME	AC	PC	08-32-45	71-15-17	10-40	08-43	
EL CALVARIO	3007	5	ZU	OP	PR	08-52-11	71-40-53	01-53	-	21
EL VIGIA	3035	7	ME	OP	C3	08-37-18	71-28-41	09-42	-	130
ESTANQUEZ	3054	7	ME	OP	PC	08-27-32	71-31-56	09-42	12-09	452
JAJI-HDA. EL JOGUE	3041	7	ME	AC	PR	08-34-32	71-21-06	01-45	06-46	
LA FERREIRA	3013	5	ZU	OP	PR	08-50-37	71-58-49	03-53	-	10
LA MUCUY	3028	7	ME	PR	PC	08-35-	71-00-	01-52	02-55	
LA PALMITA	8053	7	ME	OP	C3	08- 32-51	71-35-50	01-53	-	801
LAGUNILLAS	3055	7	ME	OP	PC	08-30-25	71-23-14	12-43	08-68	1070
LOS HATOS	3059	7	ME	AC	PC	08-33-	71-36-	02-50	06-54	
MERIDA AEROPUERTO	3047	7	ME	SM	C1	08-35-56	71-02-25	01-20	-	1470
MERIDA EL LLANO	3046	7	ME	OP	PE	08-35-31	71-08-36	04-49	05-67	1623
MERIDA - INOS	3049	7	ME	OS	PR	08-41-	71-09	06-50	-	1707
MERIDA- MAC	3048	7	ME	AC	PC	08-35-00	71-09-30	09-40	-	

(*) según archivo M.A.R.N.R. 4-06-1977

LISTA I

LISTADO DE ESTACIONES REGISTRADAS EN LA CUENCA
DEL RIO ESCALANTE *

NOMBRE DE LA ESTACION	SERIAL	Z.ADM	EDO	ORG	T.EST	LATITUD	LONGITUD	INSTLD	ELIMDA	MSNM
MORRO ALTO	3036	7	ME	OP	PR	08-45-	70-58-	08-53	02-56	
MUCUCHIES- MAC	3122	7	ME	AC	C1	08-46-00	70-54-00	01-41	-	2980
MUCURUBA- MAC	3039	7	ME	AC	PC	08-43-	71-00-	01-49	10-72	2255
PARAMO EL MOLINO	3070	7	ME	OP	PR	08-16-54	71-34-02	10-61	-	2750
PARAMO LA NEGRA	3078	7	ME	OP	PR	08-16-	71-53-	02-55	02-58	3050
PARAMO LOS CONEJOS	3037	7	ME	OP	PR	08- -	71- -	06-53	03-56	
PUEBLO NUEVO	3075	7	ME	OP	PC	08-27-	71-25-	02-53	08-57	1510
PUENTE ESCALANTE	8054	7	ME	OP	PR	08-30-	71-46	06-60	-	160
SAN JUANITO	3058	7	ME	AC	PC	08-36-	71-39-	01-50	10-53	
SANTA BARBARA	2093	3	ZU	OP	PE	09-00-07	71-54-57	11-52	06-07	5
SANTA BARBARA	2099	5	ZU	OP	C1	09-00-	71-55-	06-67	-	5
SANTA CRUZ DE MORA	3065	7	ME	OP	PC	08-24-00	71-38-28	03-45	10-72	560
SANTA CRUZ-MAC	3064	7	ME	AC	PC	08-25-	71-39-	10-40	08-61	
UMUQUENA	8064	6	TA	OP	PC	08-16-13	72-03-37	01-53	02-65	400

(*) según archivo M.A.R.N.R. 4-06-1977.

TABLA I

AREAS PARCIALES PARA EL CALCULO DE LA LLUVIA MEDIA
SOBRE LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE

ESTACION	CODIGO	AREA	MAGNITUD (Un ²)
BELLA VISTA	3011	A1	0,2
LA FERREIRA	3013	A2	6,1
CARACOLI	3025	A3	1,8
EL VIGIA	3035	A4	0.6
LA PALMITA	8053	A5	0.8
SANTA CRUZ DE MORA		A6	0.7
PUENTE ESCALANTE	8054	A7	2,3
ZEA LA FLORIDA		A8	2.5
CAÑO NEGRO	8052	A9	5.1
LA GRITA		A10	0,5
UMUQUEÑA	8065	A11	3,1
ALDEA PAJITAS		A12	7,9
EL GUAYABO	3034	A13	4,2
MESA DE SEBORUCO		A14	0,3

AREA TOTAL DE LA CUENCA = 36,1 Un²
(hasta LA FERREIRA)

TABLA II

AREAS PARCIALES PARA EL CALCULO DE LA LLUVIA MEDIA

SOBRE LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE

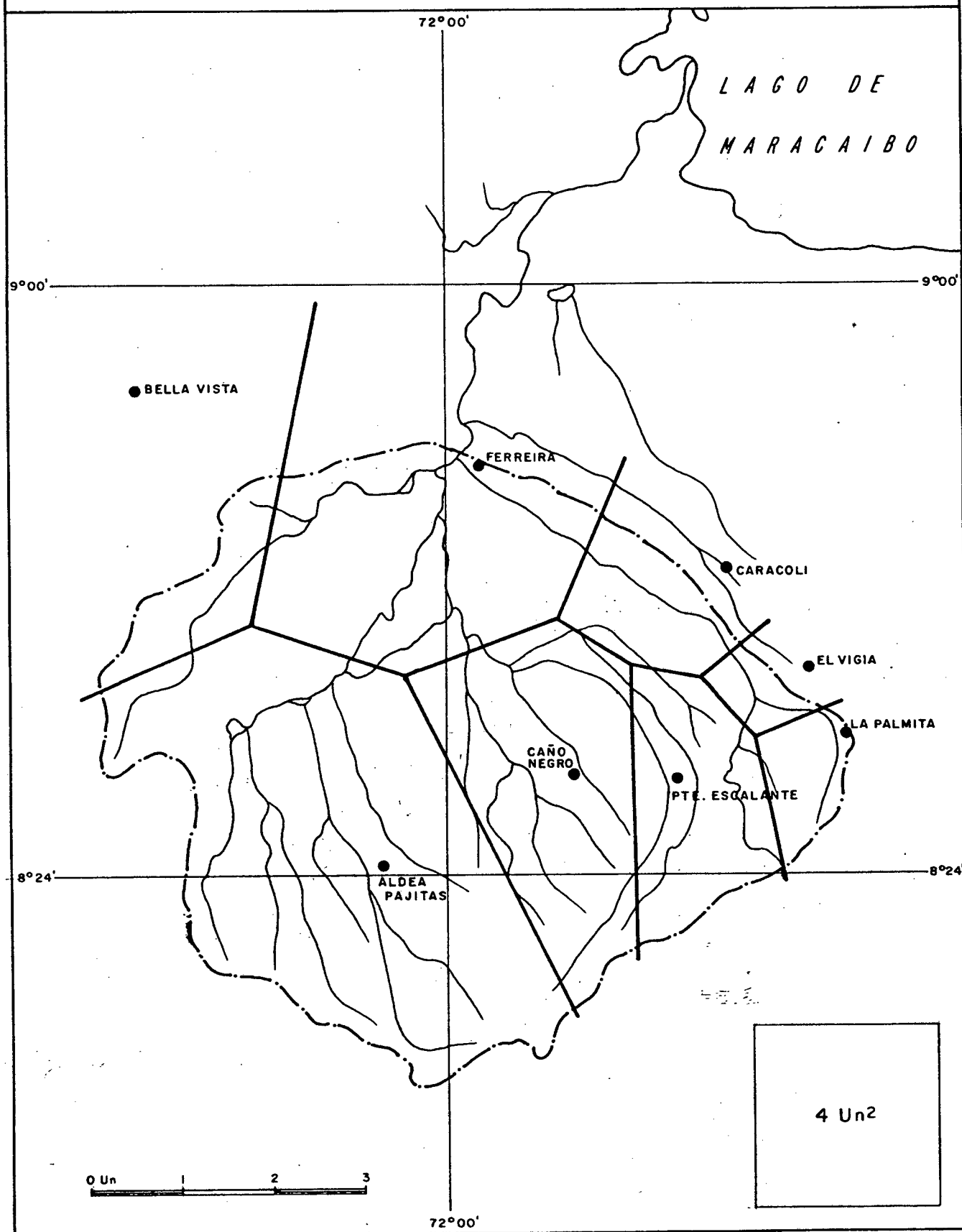
(RED I)

ESTACION	CODIGO	AREA	MAGNITUD (Un^2)
LA FERREIRA	3013	A1	5,70
CARACOLI	3025	A2	2,58
PUENTE ESCALANTE	8054	A3	4,32
CAÑO NEGRO	8052	A4	5,82
UMUQUENA	8065	A5	3,72
ALDEA PAJITAS	8074	A6	6,90
EL GUAYABO	3034	A7	4,44

AREA TOTAL DE LA CUENCA = 33,48 Un^2

MAPA 2

POLIGONOS DE THIESSEN DE LA RED DE ESTACIONES
RIO ESCALANTE - ESTADO ZULIA



CUADRO Nº 1

EXISTENCIA DE DATOS
CUENCA DEL RIO ESCALANTE

ESTACION	NOV	DIC	ENE	FEB
Encontrados (2092)	* 5	SI	SI	SI
Tasajeras (2082)	SI	SI	SI	
La Solita (3000)	SI	* 5	SI	* 26
Santa Bárbara (2099)	SI	SI	SI	SI
Concha (2095)	SI	SI	SI	SI
El Guayabo (3034)	SI		SI	SI
Bella Vista (3011)	SI	* 8	SI	* 6
La Ferreira (3013)	SI	* 3	SI	SI
El Calvario (3007)	SI	SI	SI	* 9
Caracolr (3025)	* 2	SI	SI	SI
El Vigra (3035)	SI	SI	SI	SI
La Palmita (8053)	SI	SI	SI	SI
Caño Negro (8052)	SI	SI	SI	SI
Puente Escalante (8054)	* 16	SI	SI	SI
Santa Cruz de Mora (3065)	ELIMINADA AÑO 1972			
Aldea Pajitas (8074)	* 15	SI	* 8	SI
Zea La Florida (3142)	* 6	* 10		
La Fría (3061)	* 2		SI	SI
Umuquena (8065)	SI		SI	SI
Páramo El Molino (3070)	SI	SI		
Mesa de Seboruco (3082)	SI		* 7	* 6
La Grita (3083)	SI		SI	SI

TABLA III

AREAS PARCIALES PARA EL CALCULO DE LA LLUVIA MEDIA

SOBRE LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE

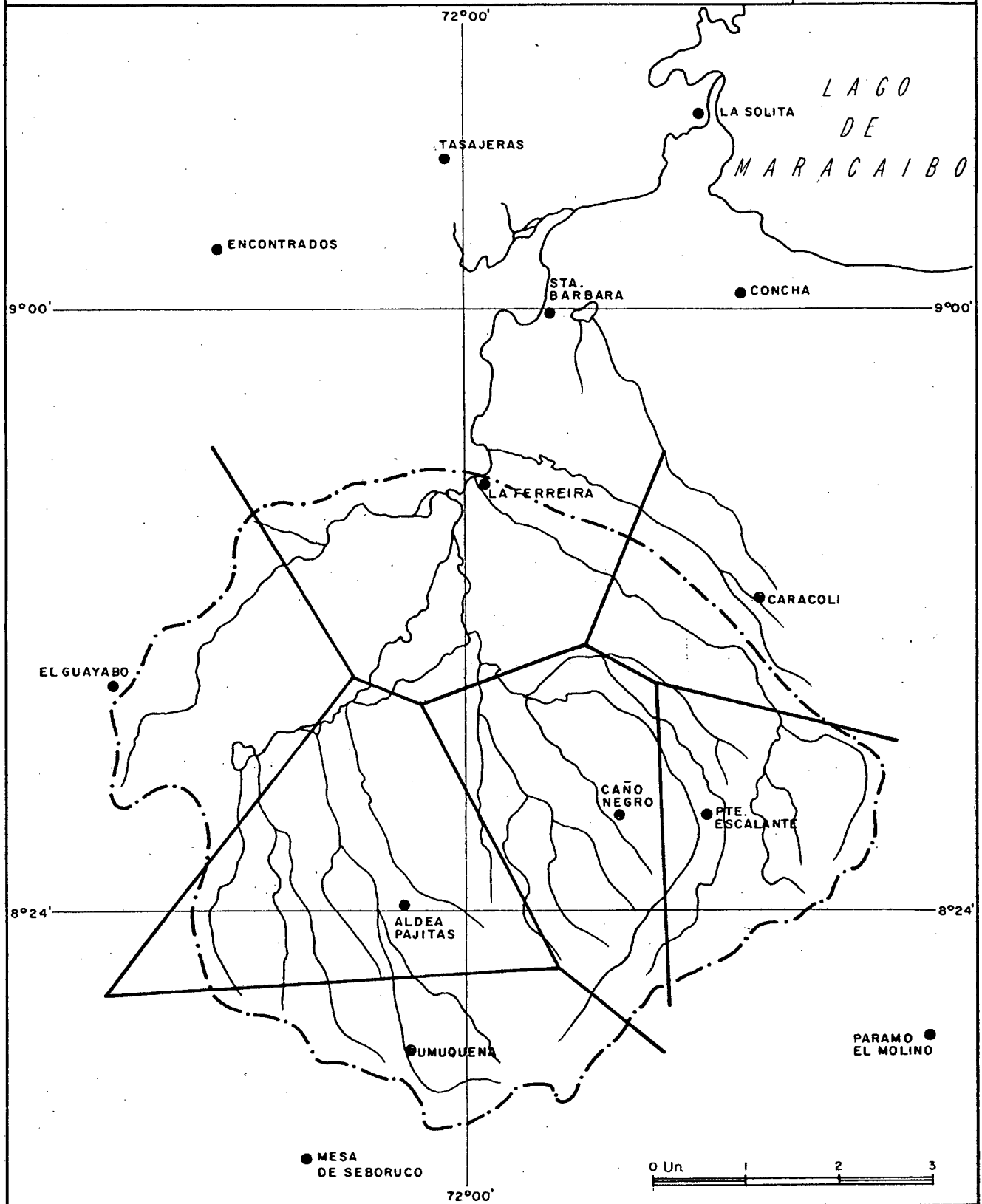
(RED II)

ESTACION	CODIGO	AREA	MAGNITUD (Un ²)
ALDEA PAJITAS	8074	A1	17,78
CAÑO NEGRO	8052	A2	6,59
PUENTE ESCALANTE	8054	A3	3,78
LA PALMITA	8053	A4	1,11
EL VIGIA	3035	A5	0,67
CARACOLI	3025	A6	2,07
LA FERREIRA	3013	A7	7,18
BELLA VISTA	3011	A8	1,78

AREA TOTAL DE LA CUENCA = 40,96 Un²

MAPA 3
POLIGONOS DE THIESSEN DE LA RED DE ESTACIONES
RIO ESCALANTE

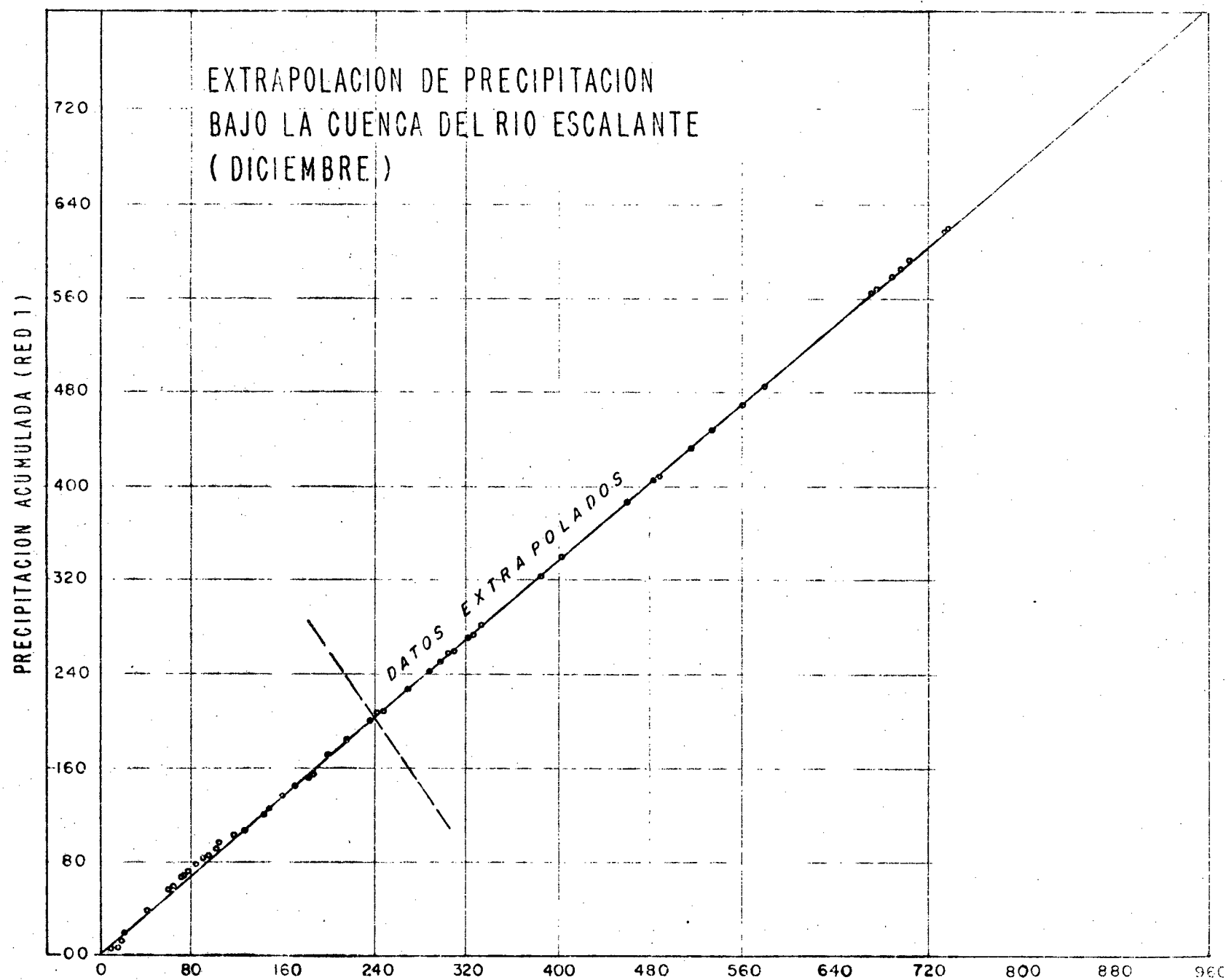
4 Un²



gió (ver Gráfico 2).

Una vez obtenidos los valores de la lluvia media, se procedió a introducir los datos en la computadora , conjuntamente con el área en Kilómetros cuadrados (Km^2). Se obtuvieron unas primeras corridas (ver Gráficos 3 a 7) que proporcionan una primera respuesta al método utilizado.

Posteriormente, se procedió a calibrar el Modelo alterando para ello los valores de los parámetros P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , $S(1)$, $D(1)$ y $R(1)$. Por último, se obtuvo una aproximación del Modelo a los valores reales , la cual se Consideró óptima de acuerdo a las condiciones de trabajo dadas, quedando de esta manera ajustado el Modelo (ver Gráficos 8 a 18).



DATOS DE PRECIPITACION

- CUADRO Nº 2
- CUADRO Nº 3
- CUADRO Nº 4
- PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO
ESCALANTE: RED I (MESES: NOVIEMBRE, 1975 y
ENERO, 1976)
RED II (MESES: NOVIEMBRE 1975,
DICIEMBRE, 1975 Y ENERO, 1976).
- PRECIPITACION MEDIA BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE:
RED I
RED II

MES

NOV.

AÑO 1975

RESUMEN DE PRECIPITACION

RIO

ESCALANTE

ESTADO:

Nº DE LECTURAS DIARIAS:

HORA(S):

DISTRITO HIDROLOGICO:

[illegible]

MES

DICIEMB.

AÑO

1975

RESUMEN DE PRECIPITACION

RIO

ESCALANTE

ESTADO:

Nº DE LECTURAS DIARIAS:

HORA(S):

DISTRITO HIDROLOGICO:

Día	8074	8052	8054	8053	3035	3025	3013	3011	8065			
1	0	0	10,2	0	0	1,0	5,9	6,6	0			
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
3	0,1	0,3	0	0	2,7	0	0	0	0			
4	1,8	0,7	2,9	0	32,5	0	0,3	5,12	0			
5	16,6	56,5	34,7	0	9,9	24,3	0,4	8,95	0			
6	9,3	50,0	9,0	0	1,3	0,5	6,8	1,03	0			
7	10,0	2,3	2,1	11,3	22,4	0,2	5,6	47,2	0			
8	2,5	3,4	2,2	8,8	3,0	35,6	9,4	0,9 n	0			
9	0	0	0	0	0,1	0	0,5	4,13	0			
10	0	0	0	0	0,2	0	0	0,11	0			
11	6,9	2,2	18,3	21,8	12,6	39,9	30,8	40,3	0			
12	0,6	0,3	0	0	0,1	1,7	3,5	30,96	0			
13	0	2,5	0	0	0	8,0	29,2	7,7	0			
14	75,2	14,6	3,4	0	0	38,0	27,4	8,8	0			
15	10,0	3,0	0,1	1,2	0	0,9	69,0	4,2	0			
16	65,4	38,5	22,4	11,3	57,6	27,2	42,3	5,1	0			
17	11,7	8,0	20,2	24,6	62,6	5,8	28,1	4,4	0			
18	3,4	7,6	1,4	0	0,5	0,4	7,0	0,5	0			
19	25,9	42,1	34,7	12,3	26,2	25,1	13,8	3,6	0			
20	0,8	0	11,9	32,6	27,7	13,6	62,3	4,5	0			
21	11,6	35,2	26,7	7,9	50,8	126,6	7,8	0,2	0			
22	30,3	3,3	16,5	0	7,6	5,8	0,5	0,9	0			
23	128,6	106,4	56,0	0	63,6	8,4	0,1	2,6	0			
24	0	0,2	0	0	7,8	5,4	0,4	0	0			
25	15,3	29,1	10,0	0	0,4	2,1	0	0	0			
26	10,0	0,8	3,4	0	1,3	1,4	16,7	4,3	0			
27	0	0	0	0,6	0	2,8	21,6	11,8	0			
28	35,6	6,4	29,7	1,2	6,7	0,4	40,1	4,4	0			
29	0,9	1,7	0	0,7	0	0	6,4	1,5	0			
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
31	0	0	0,3	0	0	1,4	0	0	0			

MES	ENERO	AÑO	1976
-----	-------	-----	------

RESUMEN DE PRECIPITACION

RID : ESCALANTE ESTADO:

Nº DE LECTURAS DIARIAS: _____ HORA(S): _____ DISTRITO HIDROLOGICO: _____

Día	8074	8052	8054	8053	3035	3025	3013	3011	8065	3034		
1	0	0	0,7	0	0	7,4	0	0	0	0		
2	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0		
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0	0		
5	2,2	5,6	14,0	0	0	2,4	0	0	0	0		
6	5,3	0	7,6	0	0,5	4,8	0,1	5,9	67,9	0		
7	0,2	2,2	0	0	0,8	8,9	23,2	0	6,9	0		
8	0	0	0	0	4,6	0,5	0	0	0	0		
9	0	0,2	0,9	0	6,2	0,1	0	0	0	0		
10	0,5	7,3	9,9	0	0	0	0,2	0	1,8	0		
11	7,0	7,8	20,6	0	0	0,2	0	0	0,3	0		
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13	0	0,8	0,2	0	0,7	0	0	0	0	0		
14	0	0	0	0	0	0,5	23,7	0	0	0		
15	2,4	0	0	0	11,9	56,0	2,9	0	7,0	0		
16	3,4	0,9	0	0	4,4	4,4	0,3	0	9,9	0		
17	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0		
18	4,7	11,5	0	0	3,5	0	0	0	13,7	0		
19	10,4	0,3	0	0	3,3	0	0	0	30,3	0		
20	3,6	2,3	0	0	0,7	0,3	0	0	10,4	0		
21	64,2	6,0	0,7	0	0	46,4	0	0	28,2	0		
22	0	0	0	0	0,5	6,2	0	0	3,6	0		
23	0,7	2,8	0	0	0	0,2	0	0	0,9	0		
24	5,1	0,1	1,8	0	0	1,7	0,3	0	3,0	0		
25	0,4	0	0	0	1,5	1,4	0	0	3,8	0		
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0		
27	1,0	19,5	0,1	0	0,8	1,7	0	0	1,8	0		
28	36,1	19,4	14,2	9,2	25,6	22,9	0,7	0	33,9	0		
29	16,1	36,6	9,1	0,2	2,4	2,6	20,6	9,9	15,1	0		
30	0,4	1,2	0	0	1,0	7,1	0	0	0,4	0		
31	2,8	0	0	0,3	0	0	0	0	0,5	0		

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE (RED I)

- 26.3 -

$$\sum \frac{P_{i \times A_i}}{AT}$$

MES: NOVIEMBRE, 1975

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA = PTC =

$$AT = 33,48 \text{ Un}^2$$

DIA	P1xA1	P2 x A2	P3 x A3	P4 x A4	P5xA5	P6xA6	P7xA7	P8xA8	$\sum P_{i \times A_i}$	PTC
1	22,80	0	17,71	124,55	48,73	3,45	8,44	-	225,68	6,74
2	0	9,55	0	0	0	0	90,13	-	99,68	2,98
3	31,92	0	0	0	13,02	128,34	0	-	173,28	5,18
4	1,14	0	0	0	17,48	97,29	0	-	115,91	3,46
5	18,81	10,06	154,66	347,45	2,60	88,32	0,44	-	622,35	18,60
6	449,73	48,76	32,83	74,50	0	6,21	11,54	-	623,57	18,63
7	1,71	2,06	1,73	3,49	13,02	4,14	59,94	-	86,09	2,57
8	10,26	52,89	15,98	35,50	124,62	53,82	36,41	-	329,48	9,84
9	30,21	1,55	0	0	0,37	0	11,1	-	43,23	1,29
10	0	0	0	0,58	36,83	22,08	40,4	-	99,89	2,98
11	5,13	0,26	0	0	0,37	0	0	-	5,76	0,17
12	81,5	4,13	25,92	58,2	37,57	22,08	117,22	-	346,63	10,35
13	0	0	0	0	0,74	0	0	-	0,74	0,02
14	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0,00
15	0	0	8,21	18,62	122,02	71,76	0,44	-	221,05	6,60
16	0	2,06	0	0	1,49	0,69	0	-	4,24	0,13
17	14,25	6,19	20,74	48,31	135,41	80,04	15,54	-	320,47	9,57
18	0	0	0	0	0,37	0	3,55	-	3,92	0,12
19	0	0	410,4	131,53	0,74	0	0	-	542,68	16,21
20	0	0	0	0	63,24	57,27	101,68	-	222,19	6,64
21	0	0	0	0	0,37	0	0	-	0,37	0,01
22	95,19	0,26	282,53	141,43	1,49	1,38	47,06	-	569,33	17,00
23	10,26	4,90	14,69	27,35	3,72	3,45	41,71	-	106,11	3,17
24	0	0,26	51,41	3,49	187,49	168,36	0,44	-	461,85	13,79

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE (RED I)

MES: NOVIEMBRE, 1975

$$\text{PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA} = \text{PTC} = \frac{\sum P_i \times A_i}{AT}$$

$$AT = 33,48 \text{ Un}^2$$

DIA	P1xA1	P2xA2	P3XA3	P4xA4	P5XA5	P6xA6	P7xA7	P8xA8	$\sum P_i \times A_i$	PTC
26	26,79	87,20	8,21	10,48	171,86	29,67	70,60	-	404,81	12,09
27	0	0	0	0	0,37	0	0,88	-	1,26	0,04
28	5,7	0	154,66	129,79	15,62	167,67	79,48	-	552,91	16,51
29	157,32	113,52	13,39	22,12	95,98	114,54	124,76	-	641,63	19,16
30	80,94	158,41	57,46	41,90	90,02	137,31	43,96	-	610,00	18,22
31										

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE (RED I)

MES: ENERO, 1976.

$$\text{PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA} = \text{PTC} = \frac{\sum P_i \times A_i}{\text{AT}}$$

$$\text{AT} = 33,48 \text{ km}^2$$

DIA	P1xA1	P2 x A2	P3 x A3	P4 x A4	P5xA5	P6xA6	P7xA7	P8xA8	$\sum P_i \times A_i$	PTC
1	0	19,09	3,02	0	0	0	0	-	22,12	0,66
2	0	5,68	0	0	0	0	0	-	5,68	0,17
3	0	0	0	0	0	0	0	-	0,0	0,0
4	0	1,81	0	0	0	0	0	-	1,81	0,05
5	0	6,19	60,48	32,59	0	15,18	0	-	114,44	3,42
6	0,57	12,38	32,83	0	252,59	36,57	0	-	334,94	10,00
7	132,24	22,96	0	12,80	25,67	1,38	0	-	195,05	5,83
8	0	1,29	0	0	0	0	0	-	1,29	0,04
9	0	0,26	3,89	1,16	0	0	0	-	5,31	0,16
10	1,14	0	42,77	42,49	6,7	3,45	0	-	96,54	2,88
11	0	0,52	88,99	45,4	1,12	48,3	0	-	184,32	5,51
12	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0,00
13	0	0	0,86	4,66	0	0	0	-	5,52	0,16
14	135,09	1,29	0	0	0	0	0	-	136,38	4,07
15	16,53	144,48	0	0	26,04	16,56	0	-	203,61	6,08
16	1,71	11,35	0	5,24	36,83	23,46	0	-	78,59	2,35
17	0	0,52	0	0	0	0	0	-	0,52	0,02
18	0	0	0	66,93	50,96	32,43	0	-	150,32	4,49
19	0	0	0	1,75	112,72	71,76	0	-	186,23	5,56
20	0	0,77	0	13,39	38,69	24,84	0	-	77,69	2,32
21	0	119,71	3,02	34,92	104,90	442,98	0	-	705,54	21,07
22	0	15,99	0	0	13,39	0	0	-	29,39	0,88
23	0	0,52	0	16,30	3,35	4,83	0	-	24,99	0,75
24	1,71	4,39	7,78	0,58	11,16	35,19	0	-	60,80	1,82
25	0	3,61	0	0	14,14	2,76	0	-	20,51	0,61

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE (RED I)

MES: ENERO, 1976

$$\text{PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA} = \text{PTC} = \frac{\sum P_i \times A_i}{\text{AT}}$$

$$\text{AT} = 33,48 \text{ Un}^2$$

DIA	P1xA1	P2xA2	P3XA3	P4xA4	P5XA5	P6xA6	P7xA7	P8xA8	$\sum P_i \times A_i$	PTC
26	0	0	0	0	0,37	0	0	-	0,37	0,01
27	0	4,39	0,43	113,49	6,7	6,9	0	-	131,90	3,94
28	3,99	59,08	61,34	112,91	126,11	249,1	0	-	612,52	18,3
29	117,42	6,71	39,31	213,01	56,17	111,1	0	-	543,71	16,24
30	0	18,32	0	6,98	1,49	2,76	0	-	29,55	0,88
31	0	0	0	0	1,86	19,32	0	-	21,18	0,63

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE (RED II)

MES: NOVIEMBRE, 1975.

PRECIPITACION TOTAL
BAJO LA CUENCA

$$= PTC = \frac{\sum P_{ixA_i}}{AT}$$

$$AT = 40,96 \text{ Un}^2$$

DIA	P1xA1	P2 x A2	P3 x A3	P4 x A4	P5xA5	P6xA6	P7xA7	P8xA8	$\sum P_{ixA_i}$	PTC
1	8,89	141,03	15,50	2,0	10,25	0	28,72	0	206,38	5,04
2	0	0	0	0,0	11,06	7,66	0	36,31	55,03	1,34
3	330,71	0	0	0	6,16	0	40,21	1,78	378,86	9,25
4	250,70	0	0	8,44	17,89	0	1,44	0,18	278,64	6,80
5	227,58	393,42	135,32	0,67	0,54	8,07	23,69	0,89	790,19	19,29
6	16,0	84,35	29,03	0	0	39,12	566,50	0,53	735,54	17,96
7	10,67	3,95	1,36	9,66	18,56	1,66	2,15	7,3	55,31	1,35
8	138,68	40,2	13,83	4,77	5,9	42,44	12,92	11,21	269,95	6,59
9	0,53	0	0	0	5,56	1,24	38,05	12,46	57,85	1,41
10	55,83	0,66	0,23	1,11	0	0	0	5,52	63,34	1,55
11	0,53	0	0	0	0	0,21	6,46	0	7,20	0,18
12	55,83	65,90	22,68	0	0,13	3,31	102,67	90,60	341,13	8,33
13	1,07	0	0	0	0	0	0	0	1,07	0,03
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
15	185,09	21,09	7,26	0	2,61	0	0	0	216,05	5,27
16	2,31	0	0	3,11	0,34	1,66	0	0	7,42	0,18
17	208,25	54,70	18,67	0	11,73	4,97	17,95	3,20	317,46	7,75
18	0	0	226,8	0	5,16	0	0	0	231,96	5,66
19	0	148,93	35,91	0	0	0	0	0	184,84	4,51
20	147,57	0	0	0	0,13	0	0	0	147,70	3,61
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
22	3,56	160,14	247,21	0,33	0,80	0,21	119,91	15,84	548,00	13,38
23	8,89	11,2	12,85	0	10,05	3,93	12,92	100,39	160,25	3,91
24	433,83	3,95	44,98	16,43	3,69	0,21	0	1,96	505,05	12,33

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE (RED II)

MES: NOVIEMBRE, 1975

$$\text{PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA} = \text{PTC} = \frac{\sum P_i \times A_i}{\text{AT}}$$

$$\text{AT} = 40,96 \text{ Un}^2$$

DIA	P1xA1	P2xA2	P3XA3	P4xA4	P5XA5	P6xA6	P7xA7	P8xA8	$\sum P_i \times A_i$	PTC
26	76,45	11,86	7,18	31,08	3,95	69,97	33,75	6,94	241,19	5,89
27	0	0	0	18,32	0	0	0	0	18,32	0,45
28	432,05	146,96	135,32	7,66	22,85	0	7,18	0	752,02	18,36
29	295,15	25,04	11,72	0	6,43	91,08	198,17	4,09	631,68	15,42
30	353,82	47,45	50,27	0	0	127,1	101,96	16,73	697,33	17,02
31										

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE (RED II)

MES: DICIEMBRE, 1975

PRECIPITACION TOTAL
BAJO LA CUENCA = PTC = $\frac{\sum P_i x A_i}{AT}$

AT = 40,96 Un²

DIA	P1xA1	P2 x A2	P3 x A3	P4 x A4	P5xA5	P6xA6	P7xA7	P8xA8	$\sum P_i x A_i$	PTC
1	0	0	38,56	0	0	2,07	42,36	11,75	94,74	2,31
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
3	1,78	1,98	0	0	1,81	0	0	0	5,56	0,14
4	32,00	4,61	10,96	0	21,78	0	2,15	9,11	80,62	1,97
5	295,15	372,34	131,17	0	6,63	50,30	2,87	15,93	874,39	21,35
6	165,35	329,5	34,02	0	0,87	1,04	48,82	1,83	581,44	14,2
7	177,80	15,16	7,94	12,54	15,01	0,41	40,21	84,02	353,08	8,62
8	44,45	22,41	8,32	9,77	2,01	73,69	67,49	1,60	229,74	5,61
9	0	0	0	0	0,07	0	3,59	7,35	11,01	0,27
10	0	0	0	0	0,13	0	0	0,2	0,33	0,01
11	122,68	14,5	69,17	24,2	8,44	82,59	221,14	71,73	614,46	15,00
12	10,67	1,98	0	0	0,07	3,52	25,13	55,11	96,47	2,36
13	0	16,48	0	0	0	16,56	209,66	13,71	256,40	6,26
14	1.337,06	96,21	12,85	0	0	78,66	196,73	15,66	1.737,18	42,41
15	177,80	19,77	0,38	1,33	0	1,86	495,42	7,48	704,04	17,19
16	1.162,81	253,72	84,67	12,54	38,59	56,3	303,71	9,08	1.921,43	46,91
17	208,03	52,72	76,36	27,31	41,94	12,01	201,76	7,83	627,95	15,33
18	60,45	50,08	5,29	0	0,34	0,83	50,26	0,89	168,14	4,11
19	460,5	277,44	131,17	13,65	17,55	51,96	99,08	6,41	1.057,76	25,82
20	14,22	0	44,98	36,19	18,56	28,15	447,31	8,01	597,43	14,59
21	206,25	231,97	100,93	8,77	34,04	262,06	56,00	0,36	900,37	21,98
22	538,73	21,75	62,37	0	5,09	12,01	3,59	1,60	645,14	15,75
23	2.286,51	701,18	211,68	0	42,61	17,39	0,72	4,63	3.264,71	79,70
24	0	1,32	0	0	5,23	11,18	2,87	0	20,59	0,50
	272,07	181,77	37,80	0	0,27	4,35	0	0	506,22	12,36

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE (RED II)

MES: DICIEMBRE, 1975.

$$\text{PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA} = \text{PTC} = \frac{\sum P_i \times A_i}{AT}$$

$$AT = 40,96 \text{ Un}^2$$

DIA	P1xA1	P2xA2	P3XA3	P4xA4	P5XA5	P6xA6	P7xA7	P8xA8	$\sum P_i \times A_i$	PTC
26	177,80	5,27	12,85	0	0,87	2,90	119,91	7,65	327,25	7,99
27	0	0	0	0,67	0	5,80	155,09	21,00	182,55	4,46
28	632,97	42,18	112,27	1,33	4,49	0,83	287,92	7,83	1.089,81	26,61
29	16,00	11,20	0	0,78	0	0	45,95	2,67	76,60	1,87
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
31	0	0	1,13	0	0	2,9	0	0	4,03	0,10

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE (RED II)

MES: ENERO, 1976.

PRECIPITACION TOTAL
BAJO LA CUENCA = PTC = $\frac{\sum P_i \times A_i}{AT}$

AT= 40,96 Un²

DIA	P1xA1	P2 x A2	P3 x A3	P4 x A4	P5xA5	P6xA6	P7xA7	P8xA8	$\sum P_i \times A_i$	PTC
1	0	0	2,65	0	0	15,32	0	0	17,96	0,44
2	0	0	0	0	0	4,55	0	0	4,55	0,11
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
4	0	0	0	0	0	1,45	0	0	1,45	0,04
5	39,12	36,90	52,92	0	0	4,97	0	0	133,91	3,27
6	94,23	0	28,73	0	0,34	9,94	0,72	10,5	144,45	3,53
7	3,56	14,5	0	0	0,54	18,42	166,58	0	203,59	4,97
8	0	0	0	0	3,08	1,04	0	0	4,12	0,10
9	0	1,32	3,4	0	4,15	0,21	0	0	9,08	0,22
10	8,89	48,11	37,42	0	0	0	1,44	0	95,86	2,34
11	124,46	51,4	77,87	0	0	0,41	0	0	254,14	6,2
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
13	0	5,27	0,76	0	0,47	0	0	0	6,5	0,16
14	0	0	0	0	0	1,04	170,17	0	171,2	4,18
15	42,67	0	0	0	7,97	115,92	20,82	0	187,39	4,57
16	60,45	5,93	0	0	2,95	9,11	2,15	0	80,59	1,97
17	0	0	0	0	0	0,41	0	0	0,41	0,01
18	83,57	75,79	0	0	2,35	0	0	0	161,70	3,95
19	184,91	1,98	0	0	2,21	0	0	0	189,10	4,62
20	64,01	15,16	0	0	0,47	0,62	0	0	80,26	1,96
21	1.141,48	39,54	2,65	0	0	96,05	0	0	1.279,71	31,24
22	0	0	0	0	0,34	12,83	0	0	13,17	0,32
23	12,45	18,45	0	0	0	0,41	0	0	31,31	0,76
24	90,68	0,66	6,8	0	0	3,52	2,15	0	103,81	2,53
25	7,11	0	0	0	1,01	2,90	0	0	11,02	0,27

PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE (RED II)

MES: ENERO, 1976

$$\text{PRECIPITACION TOTAL BAJO LA CUENCA} = \text{PTC} = \frac{\sum P_i \times A_i}{AT}$$

$$AT = 40,96 \text{ km}^2$$

DIA	P1xA1	P2xA2	P3XA3	P4xA4	P5XA5	P6xA6	P7xA7	P8xA8	$\sum P_i \times A_i$	PTC
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
27	17,78	128,51	0,38	0	0,54	3,52	0	0	150,73	3,68
28	641,86	127,85	53,68	10,21	17,15	47,40	5,03	0	903,17	22,05
29	286,26	241,19	34,4	0,22	1,61	5,38	147,91	17,62	734,59	17,93
30	7,11	7,91	0	0	0,67	14,7	0	0	30,39	0,74
31	49,78	0	0	0,33	0	0	0	0	50,11	1,22

PRECIPITACION MEDIA BAJO LA CUENCA DEL RIO

ESCALANTE

RED 1

DIA	P Nov.	P Acum.	P Dic.	P Acum.	P Enero		
1	6.74	6.74	5.90	5.90	0.66	0.66	
2	2.98	9.72	5.90	11.80	0.17	0.83	
3	5.18	14.30	1.00	12.80	0	0	
4	3.46	18.36	2.00	14.80	0.05	0.88	
5	18.6	36.96	23.00	37.00	3.42	4.32	
6	18.63	55.59	15.00	55.80	10.0	14.32	
7	2.57	58.16	10.00	65.80	5.83	20.15	
8	9.84	68.00	8.00	72.80	0.04	20.19	
9	1.29	69.29	1.00	74.80	0.16	20.35	
10	2.98	72.27	0.00	74.80	2.88	23.23	
11	0.17	72.44	15.00	88.80	5.51	28.74	
12	10.35	82.79	4.00	92.20	0	28.74	
13	0.02	82.81	8.00	100.80	0.16	28.90	
14	0	22.81	54.00	154.80	4.07	32.97	
15	6.60	89.41	18.00	172.80	6.08	39.05	
16	0.13	89.54	56.00	228.80	2.35	41.40	
17	9.57	99.11	20.00	248.80	0.02	41.92	
18	0.12	99.23	4.00	252.80	4.49	45.91	
19	16.21	115.44	28.00	280.80	5.56	51.47	
20	6.64	122.08	20.00	300.80	2.32	53.79	
21	0.01	122.09	28.00	328.80	21.07	74.86	
22	17.0	139.09	20.00	348.80	0.88	75.74	
23	3.17	142.26	92.00	440.80	0.75	76.49	
24	13.79	156.05	2.00	442.80	1.82	78.31	
25	10.03	166.08	14.00	456.80	0.61	78.92	
26	12.09	178.17	8.00	464.80	0.01	78.93	
27	0.04	178.31	8.00	472.80	3.94	82.87	
28	16.51	194.74	28.00	600.80	18.3	101.17	
29	19.16	213.88	2.00	602.80	16.24	117.41	
30	18.22	232.10	0.00	602.80	0.88	118.29	
31			1.00	603.80	0.63	118.92	

7.70

- Estimados

37.84

19.97

13.54

10.234

PRECIPITACION MEDIA BAJO LA CUENCA DEL RIO ESCALANTE

RED II

DIA	P Nov.	P Acum	P Dic.	P Acum	P Enero	P Acum	
1	5.04	5.04	2.31	2.31	0.44	0.44	
2	1.34	6.38	0	2.31	0.11	0.55	
3	9.25	15.63	0.14	2.45	0	0	
4	6.80	22.43	1.97	4.42	0.04	0.59	
5	19.29	41.72	21.35	25.77	3.27	3.86	
6	17.96	59.68	14.2	39.97	3.53	7.39	
7	1.35	61.03	8.62	48.59	4.97	12.36	
8	6.59	69.62	5.61	54.2	0.10	12.46	
9	1.41	69.03	0.27	54.47	0.22	12.63	
10	1.55	70.58	0.01	54.48	2.34	15.02	
11	0.13	70.76	15.0	69.48	6.2	21.22	
12	8.33	79.09	2.36	71.84	0.	21.22	
13	0.03	79.12	6.26	78.1	0.16	21.38	
14	0.0	79.12	42.41	120.51	4.18	25.56	
15	5.27	84.39	17.19	137.7	4.57	30.13	
16	0.18	84.57	46.91	184.61	1.97	32.10	
17	7.75	92.32	15.33	199.94	0.01	32.11	
18	5.66	97.98	4.11	204.05	3.95	36.06	
19	4.51	102.49	25.82	229.87	4.62	40.68	
20	3.61	106.10	14.59	244.46	1.96	42.64	
21	0.0	106.10	21.98	266.44	31.24	73.88	
22	13.38	119.48	15.75	282.19	0.32	74.20	
23	3.91	123.39	79.7	361.89	0.76	74.96	
24	12.33	135.72	0.5	362.39	2.53	77.49	
25	9.06	144.78	12.36	374.75	0.27	77.76	
26	5.89	150.67	7.99	382.74	0.	77.76	
27	0.45	151.12	4.46	387.2	3.68	81.44	
28	18.36	169.48	26.61	413.81	22.05	103.49	
29	15.42	184.90	1.87	415.68	17.93	121.42	
30	17.02	201.92	0.	415.68	0.74	122.16	
31			0.1	415.78	1.22	123.38	

6.73 13.41

 10.07

EL MODELO " BALANCE "

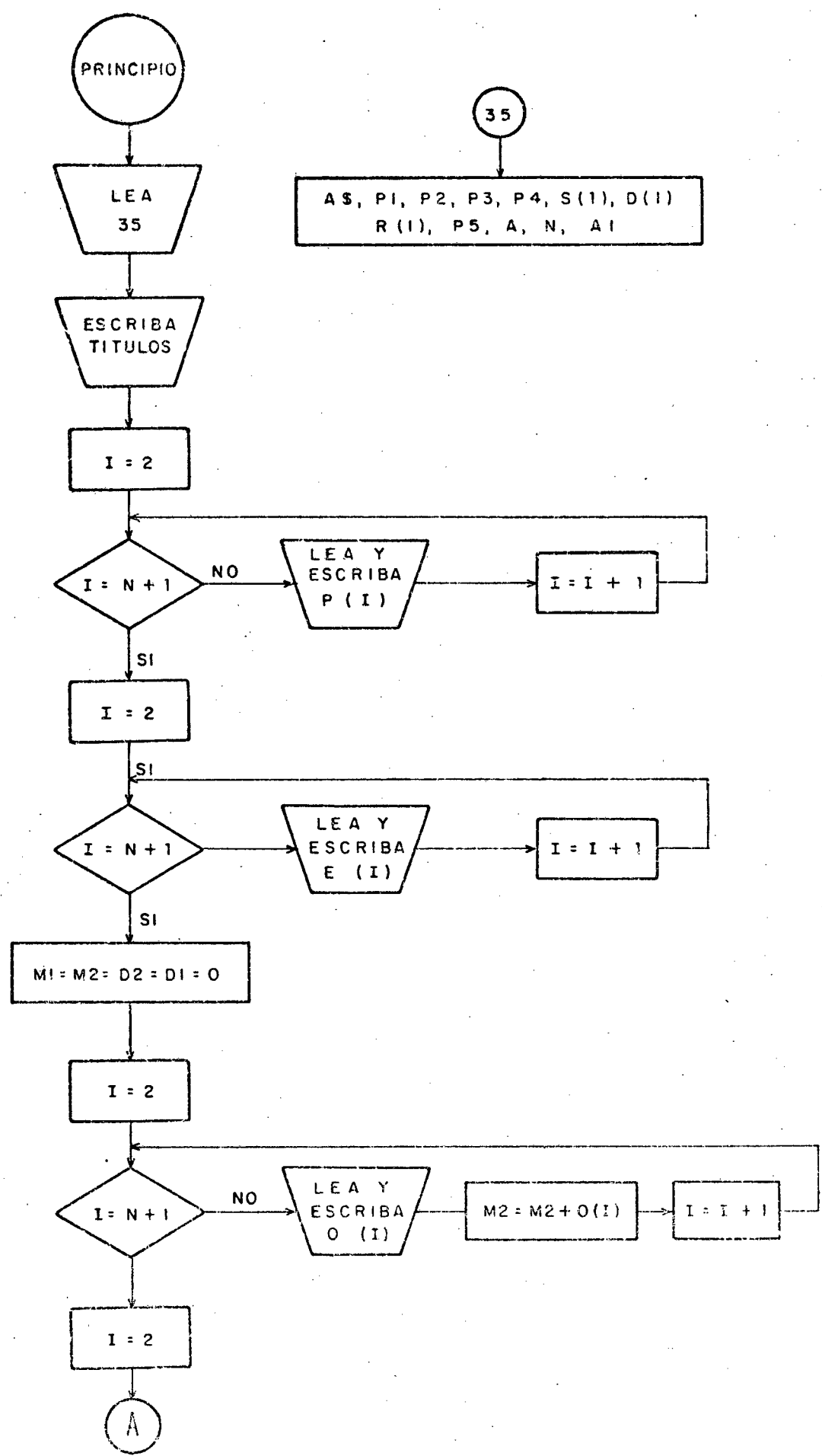
Luego de haberse explicado en forma escueta en que consiste el ciclo hidrológico, y algunas generalidades sobre modelos hidrológicos, se pasará a considerar el Modelo "Balance".

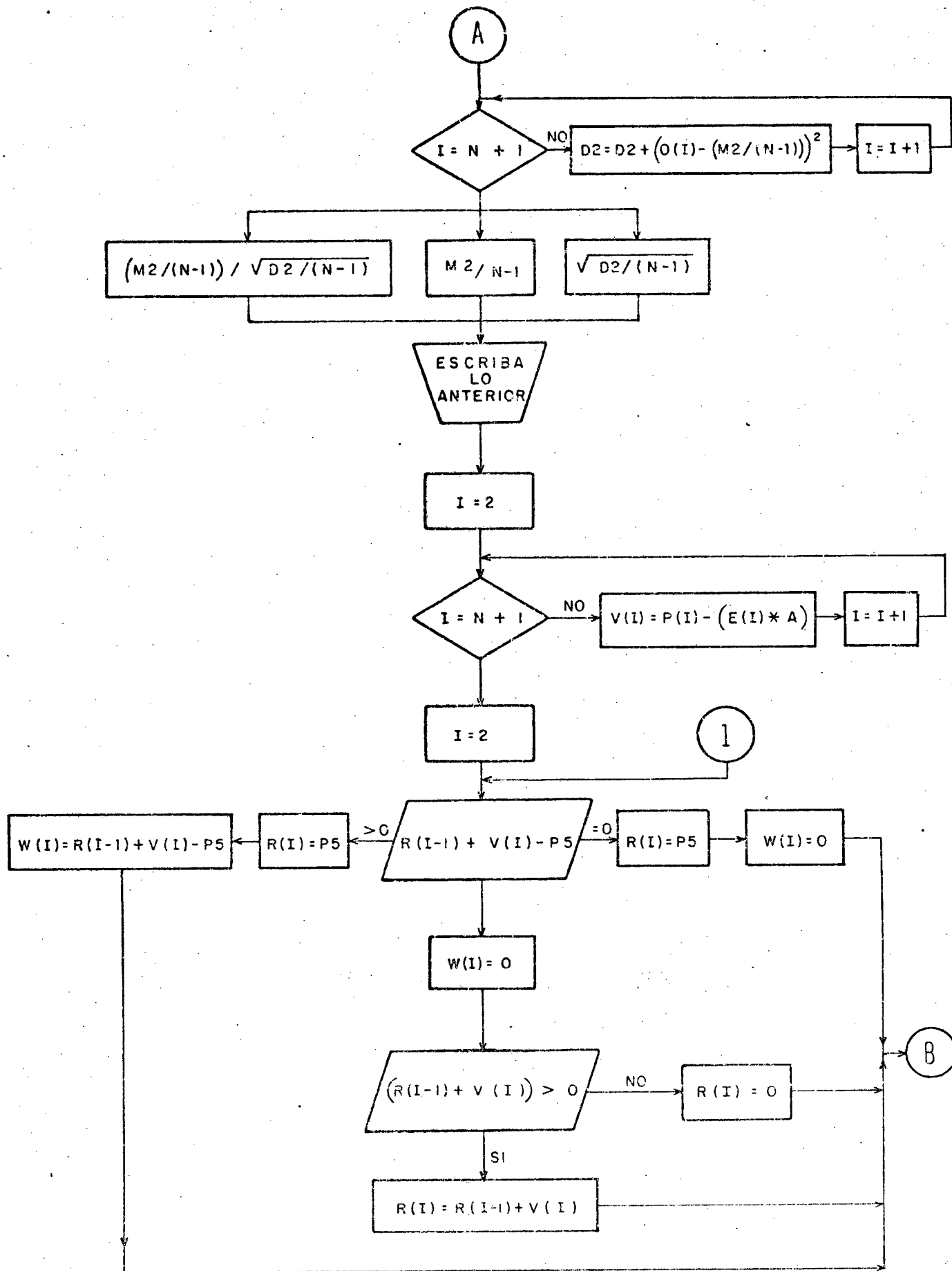
Este modelo parte de datos de evaporación, condiciones del suelo y precipitación, y actúa en dos niveles: superficial y subterráneo. El escurrimiento superficial tiene a su vez dos componentes, la parte que sale durante el intervalo I (G_i) y la porción de escurrimiento superficial que sale posterior a I (D_i). Por su parte, la infiltración actúa con las pérdidas por percolación profunda (T_i) y escurrimiento subterráneo que puede salir durante el intervalo I (Q_i) o después del mismo (S_i).

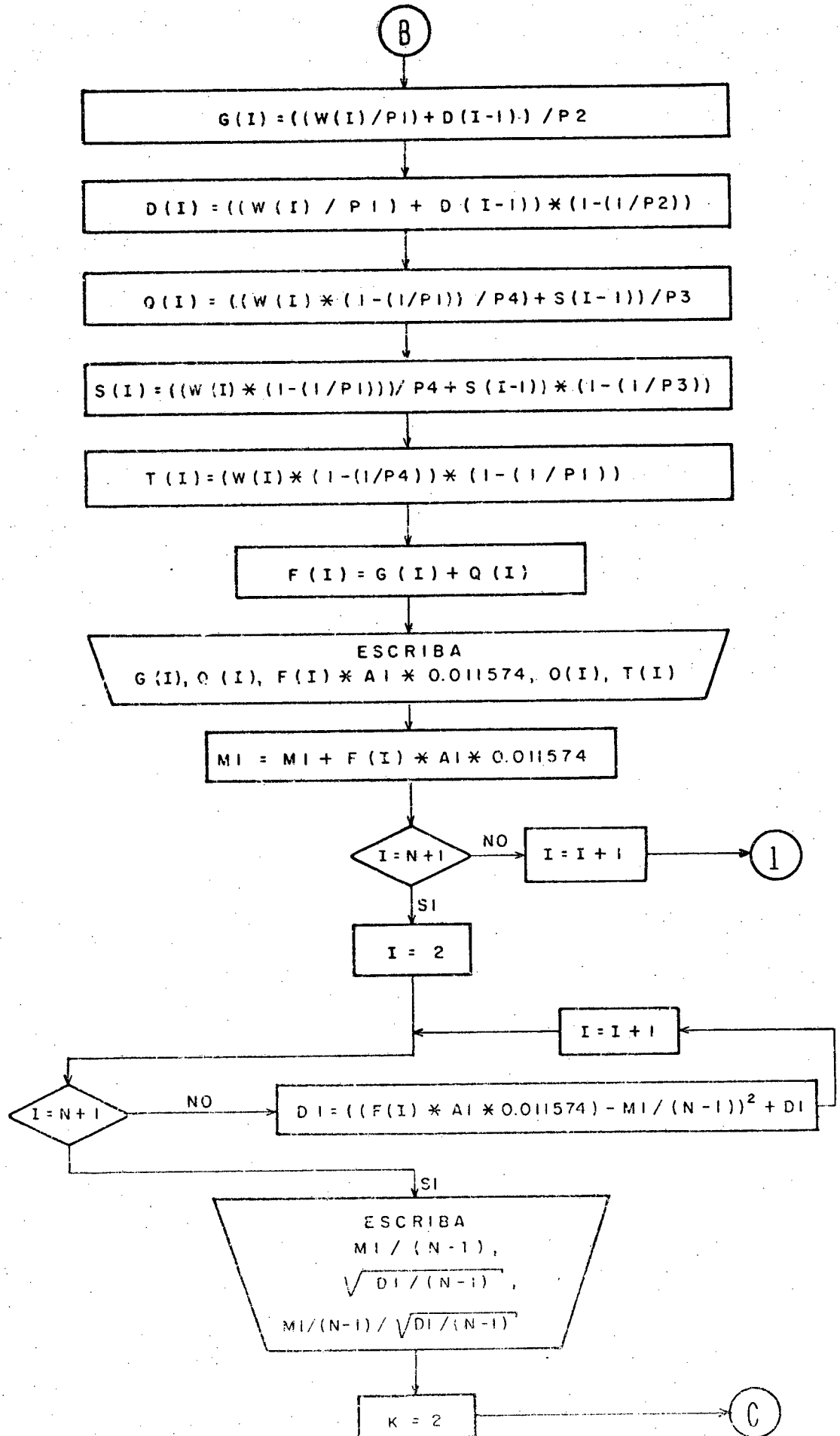
La concurrencia de estos niveles está determinada por P_1, P_2, P_3, P_4 , y $S(1), D(1), R(1)$, que son los pesos de las distintas componentes y las condiciones iniciales respectivamente - de acuerdo a la magnitud asignada a cada uno de ellos -, que combinados originan la reproducción de una serie de gastos que se aproximan más o menos.

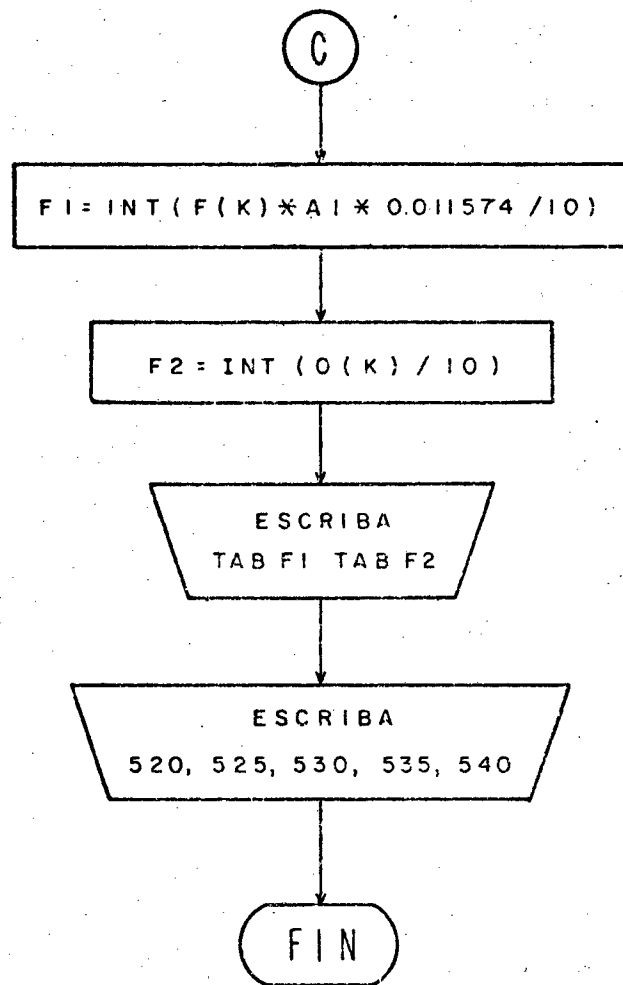
Para una mejor comprensión del algoritmo y del programa para computadora HP30 en lenguaje BASIC, a continuación se muestra el diagrama de flujo y el manual de usuario del programa.

MODELO BALANCE: DIAGRAMA DE FLUJO PARA PROCESAMIENTO









520 → P1, P2, P3, P4, P5

525 → S (1), D (1), R (1)

530 → A1

535 → P5

540 → A

MANUAL DE USUARIO

PROGRAMA PARA CORRIDA DEL MODELO

BALANCE.

- .1. LENGUAJE
- .2. FECHA DE ACTUALIZACION.
- .3. PROPOSITO
- .4. CAPACIDAD
- .5. RESTRICCIONES
- .6. DATOS DE ENTRADA
- .7. RESULTADOS QUE SE OBTIENEN
- .8. DESCRIPCION DE VARIABLES
- .9. DIAGRAMA DE FLUJO
- .10. LISTADO DEL PROGRAMA.

- .1. LENGUAJE: BASIC (HP modelo 30) de la U.C.V. Meteorología
FORTRAN IV (IBM 360/50, BURROHGS B5500)
- .2. FECHA DE ACTUALIZACION: 29-10-78
- .3. PROPOSITO: Calcular los caudales medios diarios de cuencas grandes en base a datos medios diarios de precipitaciones y evaporaciones en la cuenca y comparar los valores medidos de los caudales medios diarios. El ploteo de los valores observados y medidos mediante la impresora de impactos del sistema de computación, permite al usuario calibrar el modelo(el modelo posee 4 parámetros), En cada corrida del programa el usuario trata de superponer el hidrograma observado y el simulado cambiando el valor de cuatro parámetros de calibración (P1, P2, P3 y P4). La comparación cuantitativa está dada por el "coeficiente de desigualdad de Theil. Al obtenerse una buena colaboración se puede extender la serie de valores observados con valores estimados con el modelo, hacia el pasado y hacia el futuro, mediante la obtención de los datos de entrada por medio de procedimientos adecuados.
- .4. CAPACIDAD: Aunque el tamaño de todos los vectores en el programa actual es de dimensión 70 (70 días), se pueden cambiar las dimensiones y las precisiones. Para tamaños grandes,

por ejemplo 3.650 días (10 años de datos diarios) podría ser necesario cambiar la precisión real por precisión entera. Con precisión entera el calculador acepta numeros enteros que van desde 000 hasta 999.

Ejemplo de cambio de precisión y tamaño con el calculador HP 9866A y el programa almacenado en CPU:

a) FLETCH 10

b) 20 DIM P (70), E (70), Ø (70)

c) 20 DIM PI (365), EI (365),, ØI (365)

d) End of line.

Aunque hasta aquí se ha hablado de intervalos de tiempo referidos a días, tambien puede cambiarse el intervalo a meses o años cambiando la constante de cálculo de las instrucciones:

WRITE (4,*) F (I) * A1 * 0,011574, Ø (I) donde A1 es el área de la cuenca en kilómetros cuadrados y,

$$F1 = \text{INT} (F (K) * A1 * 0.011574 / 10)$$

Si F (I) viene dado en mm; A1, el área de la cuenca en Km², F (K) * A1 * 0,011574 viene dado en m³/seg.

5. RESTRICCIONES:

El tamaño de los vectores está limitado por la capacidad de memoria de la CPU del calculador. El usuario, cuando necesite tamaños mayores que 70 debe efectuar las modificaciones y si no sobrepasa la capacidad de memoria, al teclear END OF LINE en la instrucción DIM..... no debe aparecer mensaje de error.

.6. DATOS DE ENTRADA: Se emplea instrucciones READ Y DATA, almacenándose así los datos dentro del programa. El sistema HP30 permite almacenamiento fácil y rápido del programa en cassettes y cintas de papel, que con gran facilidad es cargado en la CPU cada vez que se necesite correr el programa, específicamente los datos de entrada son:

a) $P_1, P_2, P_3, P_4, S(1), D(1), R(1), P_5, A, N, A_1$.

donde

P_1, P_2, P_3 y P_4 son numerosos reales positivos mayores que 1 sin unidades.

b) $S(1), D(1), R(1)$ son las condiciones iniciales de la simulación, en mm.

d) A es el coeficiente evapormétrico.

e) N es el número de días (o datos de la secuencia).

f) A_1 es el área de la cuenca en kilómetros cuadrados.

g) $P(I), I=2, N$ precipitaciones medias diarias sobre la cuenca, en mm.

i) $O(I), I=2, N$ caudales medios diarios medidos en el cierre de la cuenca, en metros cúbicos por segundo.

.7. RESULTADOS QUE SE OBTIENEN:

a) Impresión en papel de los datos de entrada.

b) Impresión en papel de los valores de los caudales observados y simulados.

c) Ploteo de los hidrogramas observado y simulado en papel con la impresora de impactos.

d) Valor del coeficiente de desigualdad de Thiel y de algunos datos de entrada.

8. DESCRIPCION DE VARIABLES:

- I: Intervalo de trabajo, por ejemplo día, mes, año (día).
- N: Número de intervalos que se van a emplear para efectuar la calibración, por ejem. $N = 365$ (días), $N = 56$ (meses), $N = 10$ (años); etc. Si $N = 365$, se obtendrán 10 caudales. Estos caudales obtenidos serán caudales medios diarios y caudales medios anuales respectivamente.
- $P(I)$: Precipitaciones medias sobre la cuenca para los intervalos $I = 2$ a N . La condición inicial de precipitación viene dada por $N = 1$ y debe ser calculada o estimada por el hidrólogo.
- $E(I) * A$: Evapotranspiraciones potenciales medias de la cuenca para los intervalos $I = 2$ a N . La condición inicial de la evapotranspiraciones potenciales viene dada por $N = 1$ y debe ser calculada o estimada por el hidrólogo.
- $P(I) - (E(I) * A)$: Precipitación efectiva sobre la cuenca si $P(I) > (E(I) * A)$ y disminución de las reservas del suelo en caso de $P(I) < (E(I) * A)$. En todo caso, esta expresión sirve para conocer el estado del contenido de agua en el suelo, al final de cada intervalo I . Esta expresión se denomina $V(I)$.

$R(I-1)$

Es la cantidad de agua en mm almacenada en el suelo (reserva de agua) al final del intervalo $I-1$. $R(I)$ es la cantidad de agua en mm almacenada en el suelo al final del intervalo I .

$W(I)$

Es la cantidad de agua (en mm) en exceso, cuando la lluvia del intervalo I mas la reserva de agua, menos la evapotranspiración potencial sobre pasa la máxima capacidad de almacenamiento del suelo. $W(I)$ es mayor o igual que cero. Las Instrucciones del programa de computación definen la forma de cálculo de $W(I)$.

$W(I) / P1$:

Porción de $W(I)$ que nunca se va a infiltrar en la cuenca. $P1$ es mayor o igual que 1. Si le damos a $P1$ un valor igual que 1 no se produce infiltración y la cuenca se dice que es impermeable. Si le asignamos a $P1$ un valor muy grande, ejm. 20, 30....100 no se produce escurrimiento superficial a partir de la lluvia, pero puede haber escurrimiento superficial a partir de las condiciones iniciales. ($D(I)$).

$(W(I)/P1) + D(I-1)$:

Cantidad de agua en mm disponible para escurrir superficialmente y salir de la cuenca ya sea en el intervalo I o en los intervalos siguiente.

$((W(I)/P1 + D(I-1))/P2$:

Cantidad de agua en mm que sale como escurrimiento superficial en el intervalo I . $P2$ es mayor o igual que

1. Si P_2 es igual a 1, toda el agua, disponible para escurrir superficialmente en el intervalo I , sale de la cuenca el mismo intervalo I . Esta expresión se denomina $G(I)$. Si P_2 es muy grande, por ejemplo, 50, 60, 70, ... 100, casi toda el agua disponible para escurrir superficialmente en el intervalo I , queda atrapada en la superficie de la cuenca. Estos valores grandes de P_2 se pueden emplear para simular casos de inundaciones.

$((W(I)/P_1) + D(I-1)) * (1 - (1/P_2))$:: Cantidad de agua en mm que queda disponible para estar en posibilidad de salir de la cuenca en el intervalo $I+1$. Esta expresión se denomina $D(I)$. Si $G(I)$ es relativamente grande, $D(I)$ es relativamente pequeña y viceversa. El valor $D(1)$ debe ser suministrado como punto de partida, se recomienda revisar caudalosamente las precipitaciones antecedentes al intervalo escogido como 1. $D(I)$ no aparece nunca como alimento a la infiltración.

$(W(I) * (1 - (1/P_1))) / P_4$: Cantidad de agua en mm que se infiltray no percota profundamente, ni se fuga hacia otras cuencas. Si P_4 es igual a 1, no se produce pérdida de agua en la forma mencionada y toda el agua infiltrada estará sujeta a pasar por el cierre de la cuenca. Si P_4 es muy grande 50, 60, ..., 150 el agua infiltrada se pierde en gran parte y esa parte no aparece en el punto de medición (cierre de la cuenca).

$(W(I) * (1 - 1/P1)) / P4 + S(I-1)$: Cantidad de agua disponible para ser descargada por el acuífero ya sea en el intervalo I o en el intervalo $I+1$. $S(I-1)$ es la cantidad de agua que no salió de la cuenca en el intervalo $I-1$.

$((W(I) * (1 - (1/P1))) / P4 + S(I-1)) / P3$: Cantidad de agua descargada por el acuífero en el intervalo I . $P3$ es un número mayor o igual que 1. Si $P3$ es igual que 1 el acuífero desagua en el mismo lapso I toda el agua disponible en su interior para ese mismo lapso. Si $P3$ se hace muy grande ejem. 20, 30, 40, ..., 100, el acuífero almacena gran parte de la infiltración del día I , para descargarla en el punto de medición en los intervalos siguientes a I , en forma muy lenta. Esta cantidad se denomina $Q(I)$.

$((W(I) * (1 - (1/P1))) / P4 + S(I-1)) * (1 - (1/P3))$: Cantidad de agua a ser descargada por el acuífero en el intervalo $I+1$. Esta cantidad se denomina $S(I)$. Si $Q(I)$ es grande $S(I)$ es pequeño y viceversa. Si $P3$ es igual a 1; esto significaría que el acuífero posee alta transmisibilidad. Si $P3$ es mucho mayor que 1, estaríamos simulando un acuífero de baja transmisibilidad.

$W(I) + (1 - (1/P4)) * (1 - (1/P1))$: Cantidad de agua en mm que es parte del agua infiltrada y que se pierde por percolación profunda o por fugas hacia otras cuencas. Estos mm de agua no aparecen como salidad de la cuenca. Esta cantidad se

denomina $T(i)$.

$G(I) + Q(I)$:

Cantidad de agua en mm que sale de la cuenca por el punto de medición en el intervalo I . Esta cantidad de agua se denomina $F(I)$ y se puede convertir en caudales, multiplicandose por el área de la cuenca y dividiendo entre el tiempo asociado al intervalo I . Ejm. si se trabaja con precipitaciones medias diarias y evaporaciones medias diarias, ambas calculadas sobre una cuenca de 4.025 kilómetros cuadrados de área de captación. Hacemos $F(I) * 0.011574$ para obtener caudales en metros cúbicos por segundo ($m^3 / seg.$).

$\emptyset(I)$

Caudal observado mediante mediciones para intervalo I .
 $\emptyset(I)$ solo interviene en la calibración del modelo.

```

5  REM PROGRAMA DE COMPUTACION DEL MODELO BALANCE
10  REM EL MODELO SIMULA CRECIENTES EN RIOS GRANDE (APROX. 100 a 1000 km^2)
15  REM LAS ENTRADAS SON PRECIPITACION, EVAPORACION Y PARAMETRO
20  REM PARA LA CALIBRACION DE LOS PARAMETROS SE NECESITAN LOS CAUDALES MEDIDOS"
25  DIM A$(20)
30  DIM P[70],E[70],N[70],R[70],V[70],D[70],G[70],Q[70],S[70],T[70],F[70],O[70]
35  READ A$,P1,P2,P3,P4,S[1],D[1],R[1],P5,A,N,A1
40  DATA "(DATOS DIARIO)",2.4,25,30,1.5,80,80,125,100,0.7,64,4025
45  WRITE (4,*)"          DATOS"
50  WRITE (4,*)"CONDICIONES INICIALES DEL SUELO Y PARAMETROS"
55  WRITE (4,60)P1;P2;P3;P4;S[1];D[1];R[1];P5;A;N
60  FORMAT 11F7.1
65  WRITE (4,*)"DATOS DE PRECIPITACION EN mm)",A$
70  FOR I=2 TO N
75  READ P[I]
80  WRITE (4,*)P[I];
85  NEXT I
90  REM A CONTINUACION LOS DATOS DE LLUVIAS EN mm
95  DATA 2.31,0,0.14,1.97,21.35,14.2,8.62,5.61,0.27,0.01,15,2.36,6.26,42.41,17.1
100 DATA 46.91,15.33,4.11,25.82,14.59,21.98,15.75,79.7,0.5,12.36,7.99
105 DATA 4.46,26.61,1.87,0,0.1
110 DATA 0.44,0.11,0,0.04,3.27,3.53,4.97,0.1,0.22,2.34,6.2,0,0.16,4.18
115 DATA 4.57,1.97,0.01,3.95,4.62,1.96,31.24,0.32,0.76,2.53,0.27,0,3.68,22
116 DATA 17.93,0.74,1.22
120 REM FINALIZA LOS DATOS DE LLUVIA
125 WRITE (4,*)
130 WRITE (4,*)"DATOS DE EVAPORACION EN mm ",A$
135 FOR I=2 TO N
140 READ E[I]
145 WRITE (4,*)E[I];
150 NEXT I
155 DATA 9,4,3,5,4,5,2,4,2,4,2,4,4,5,4,3,5,5,5,4,4,7,4,4,3,2,3,5,4,4,4
160 DATA 1,2,4,3,3,3,1,2,2,5,2,3,4,7,3,2,3,3,3,3,8,3,3,1,3,1,7,5,2,4,4
165 M1=M2=D2=D1=0
170 WRITE (4,*)
175 WRITE (4,*)"CAUDALES MEDIDOS EN LA CUENCA",A$
180 FOR I=2 TO N
185 READ O[I]
190 M2=M2+O[I]
195 WRITE (4,*)O[I];
200 NEXT I
205 REM CALCULO DE LA DESVIACION ESTANDAR DE O
210 FOR I=2 TO N
215 D2=D2+(O[I]-(M2/(N-1)))^2
220 NEXT I
225 WRITE (4,230)M2/(N-1),SQR(D2/(N-1)),(M2/(N-1))/(SQR(D2/(N-1)))
230 FORMAT /,"MEDIA-M",F6.1,"DESV-EST-M",F10.3," COEF-VAR",F10.3
235 REM TERMINA LA LECTURA DE DATOS DE ENTRADA
240 REM *****
245 FOR I=2 TO N
250 V[I]=P[I]-(E[I]*A)
255 NEXT I
260 WRITE (4,*)
265 WRITE (4,*)"SIMULACION DE UNA GRAN CUENCA EN EL RIO ESCALANTE"
270 WRITE (4,*)"=====
275 WRITE (4,*)"      1      PDEP      PEASE      TOTALES      TOTALES      PERIFRO"
280 WRITE (4,*)"      1      (mm)      (mm)      (L^3/seg)      (L^3/seg)      (L/s)"
285 WRITE (4,*)"      -----

```

```

290 FOR I=2 TO N
295 IF (R[I-1]+V[I]-P5)=0 THEN 335
300 IF (R[I-1]+V[I]-P5)>0 THEN 350
305 W[I]=0
310 IF (R[I-1]+V[I])>0 THEN 325
315 R[I]=0
320 GOTO 365
325 R[I]=R[I-1]+V[I]
330 GOTO 365
335 R[I]=P5
340 W[I]=0
345 GOTO 365
350 R[I]=P5
355 W[I]=R[I-1]+V[I]-P5
360 REM
365 REM COMIENZAN A ENTRAR LOS PARAMETROS
370 G[I]=((W[I]/P1)+D[I-1])/P2
375 L[I]=((W[I]/P1)+D[I-1])*(1-(1/P2))
380 Q[I]=((W[I]*(1-(1/P1))/P4)+S[I-1])/P3
385 S[I]=((W[I]*(1-(1/P1))/P4)+S[I-1])*(1-(1/P3))
390 T[I]=W[I]*(1-(1/P4))*(1-(1/P1))
395 F[I]=G[I]+Q[I]
400 WRITE (4,410)I,G[I],Q[I],F[I]*A1*0.011574,O[I],T[I]
405 M1=M1+F[I]*A1*0.011574
410 FORMAT 1F4.0,5X,F5.1,5X,F5.1,5X,F7.1,5X,F7.1,5X,F5.1
415 NEXT I
420 FOR I=2 TO N
425 D1=((F[I]*A1*0.011574)-M1/(N-1))^2+D1
430 NEXT I
435 REM IMPRESION DE LAS MEDIAS SIMULADA Y OBSERVADA
440 WRITE (4,445)M1/(N-1),SQR(D1/(N-1)),M1/(N-1)/SQR(D1/(N-1))
445 FORMAT "MEDIA DE FTOTALS=",F6.1," DESV=",F8.3," COEF VAR=",F6.3
450 FOR K=2 TO N
455 F1=INT(F[K]*A1*0.011574/10)
460 F2=INT(O[K]/10)
465 FORMAT 2D
470 WRITE (4,*)TABF1,"*"
475 WRITE (4,465)27,10;
480 WRITE (4,*)TABF2"+"
485 NEXT K
490 REM A CONTINUACION LOS CAUDALES MEDIDOS EN M^3/seg
495 DATA 226,247,256,260,266,276,283,289,295,301,305,311,320,332,349,386,414
500 DATA 442,468,496,516,528,534,533,529,526,521,520,511,499,488
505 DATA 377,371,363,356,347,336,323,304,279,247,210,179,159,144,130,124,112
510 DATA 98,101,114,127,128,123,111,102,95,84,84,123,157,171,1,1,1,1,1
515 REM FINALIZAN LOS DATOS MEDIDOS
520 WRITE (4,*)TAB20"P1";P1;"P2";P2;"P3";P3;"P4";P4;"P5";P5
525 WRITE (4,*)TAB20"S(1)";S[1];"L(1)";L[1];"R(1)";R[1]
530 WRITE (4,*)TAB20"AREA DE LA CUENCA EN KM^2="A1
535 WRITE (4,*)TAB20"MAXIMA CAPACIDAD DEL SUELO EN MM.="P5
540 WRITE (4,*)TAB20"COEFICIENTE EVAPORIMETRICO=";A
545 REM*****
550 END

```

RESUMEN DE PARAMETROS

- P1:** M^o Real 1 sin unidades
 P1 = 1 no hay infiltraciones
 P1 = valores grandes no hay escurrimiento a partir de la lluvia pero puede existir escurrimiento superficial a partir de D (1)
- P2:** N^o Real 1 Sin unidades
 P2 = 1 Toda el agua disponible para escurrir sale de la cuenca en 1.
 P2 = Muy grande casi toda el agua disponible en 1 queda atrapada en superficie de la cuenca.
- P3:** N^o Real 1 Sin unidades.
 P3 = 1 Acuífero descarga en el intervalo 1 toda el agua disponible.
 P3 = Muy grande si almacena gran parte de la infiltración del día 1. Para descargarse en los intereses siguientes al. Sería acuífero caja trans-misibilidad.
- P4:** N^o Real 1 Sin unidades
 P4 = 1 No hay infiltración y percolación profunda. Esa agua está sujeta a pasar por el cierre de la cuenca.
 P4 = muy grande. No hay gruesas pérdidas que no aparecen en el punto de de cierre.
- P5:** Capacidad máxima de almacenamiento del suelo en mm.
- S (1):** Condición inicial en mm. Cantidad de agua que no salió en el instante 0 y que está en condiciones de aportar.
- D (1):** Condición inicial en mm. Cantidad disponible para salir en 1 + 1. Nunca alimenta la infiltración.
- R (1):** Condición inicial en mm.
- A:** Coeficiente evaporimétrico
- N:** Número de días (o datos de la secuencia)
- A1:** Area de la cuenca en Km²
- F1:** Caudal simulado en m³/seg.
- F (1):** Precipitaciones medias diarias sobre la cuenca en mm. $l = 2, n$
- E (1):** Evaporaciones medias sobre la cuenca en mm. $l = 2, n$
- O (1):** Caudales medios diarios en el cierre de la cuenca en m³/seg. $l = 2, n$

FLETCH 10

Instrucción de la computadora que permite hacer un llamado a una fila en especial.

20 DIM P (70), E (70), ..., Ø (70)

Instrucción a través de la cual se crean una serie de espacios de capacidad 70 destinados a almacenar determinados valores.

20 DIM PI (365), EI (365), ..., Ø I (365)

Instrucción a través de la cual se crean una serie de espacios de capacidad 365, destinados a almacenar determinados valores.

END OF LINE

Señalamiento que indica fin de una instrucción o línea, asumiendo que está bien lo señalado, pudiéndose almacenar en memoria y pasando la pantalla a blanco esperando siguiente instrucción o línea.

FIGURA 5

DIAGRAMA DE LOS PROCESOS DE FLUJO
DEL MODELO BALANCE (PRIMERA
FORMULACION DEL MODELO)
I=1,2,3, ..., N

D_{i-1} , S_{i-1} SON
MAGNITUDES
CONOCIDAS
ENTRANTES Y CON
CONDICIONES DE
PAUSE DEL MODELO

P_1, P_2, P_3, P_4 son adimensionales

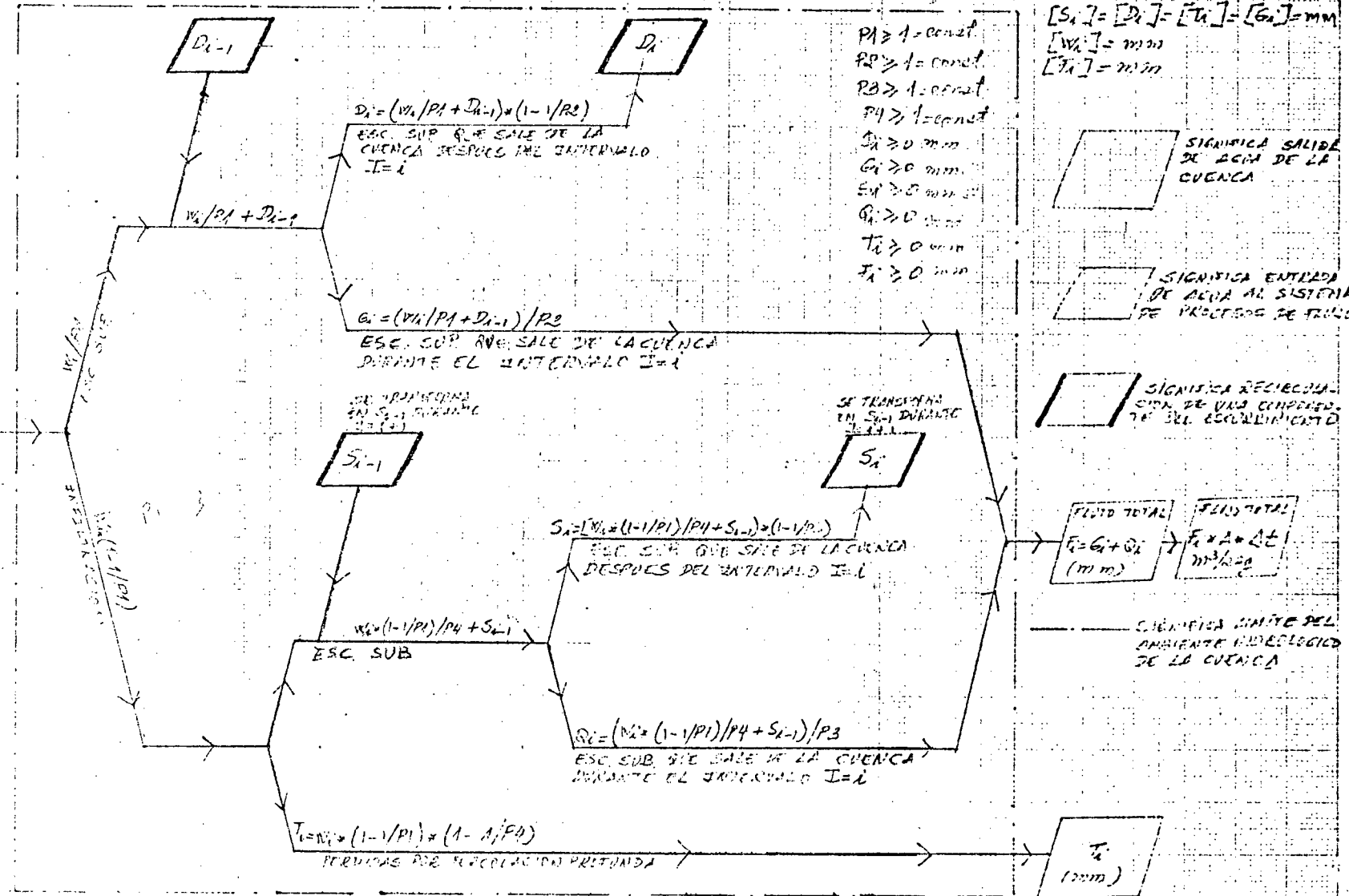
$[S_i] = [D_i] = [T_i] = [G_i] = \text{mm}$
 $[W_i] = \text{mm}$
 $[T_i] = \text{mm}$

$P_1 \geq 1 = \text{cond.}$
 $P_2 \geq 1 = \text{cond.}$
 $P_3 \geq 1 = \text{cond.}$
 $P_4 \geq 1 = \text{cond.}$
 $S_i \geq 0 \text{ mm}$
 $G_i \geq 0 \text{ mm}$
 $S_i \geq 0 \text{ mm}$
 $G_i \geq 0 \text{ mm}$
 $T_i \geq 0 \text{ mm}$
 $T_i \geq 0 \text{ mm}$

SIGNIFICA SALIDA
DE AGUA DE LA
CUENCA

SIGNIFICA ENTRADA
DE AGUA AL SISTEMA
DE PROCESOS DE FLUJO

SIGNIFICA RECARGA
CON DE VAS CONDUCTO
DE EL RECORRIDO



CALIBRACION DEL MODELO "BALANCE"

- CORRIDAS
- GRAFICOS 8 a 18

GRAFICO 3

CORRIDAS PREVIAS

AREA = 4.025 Km²

P₁ = 2,04

DATOS DE PRECIPITACION BAJO LA CUENCA (RED II)

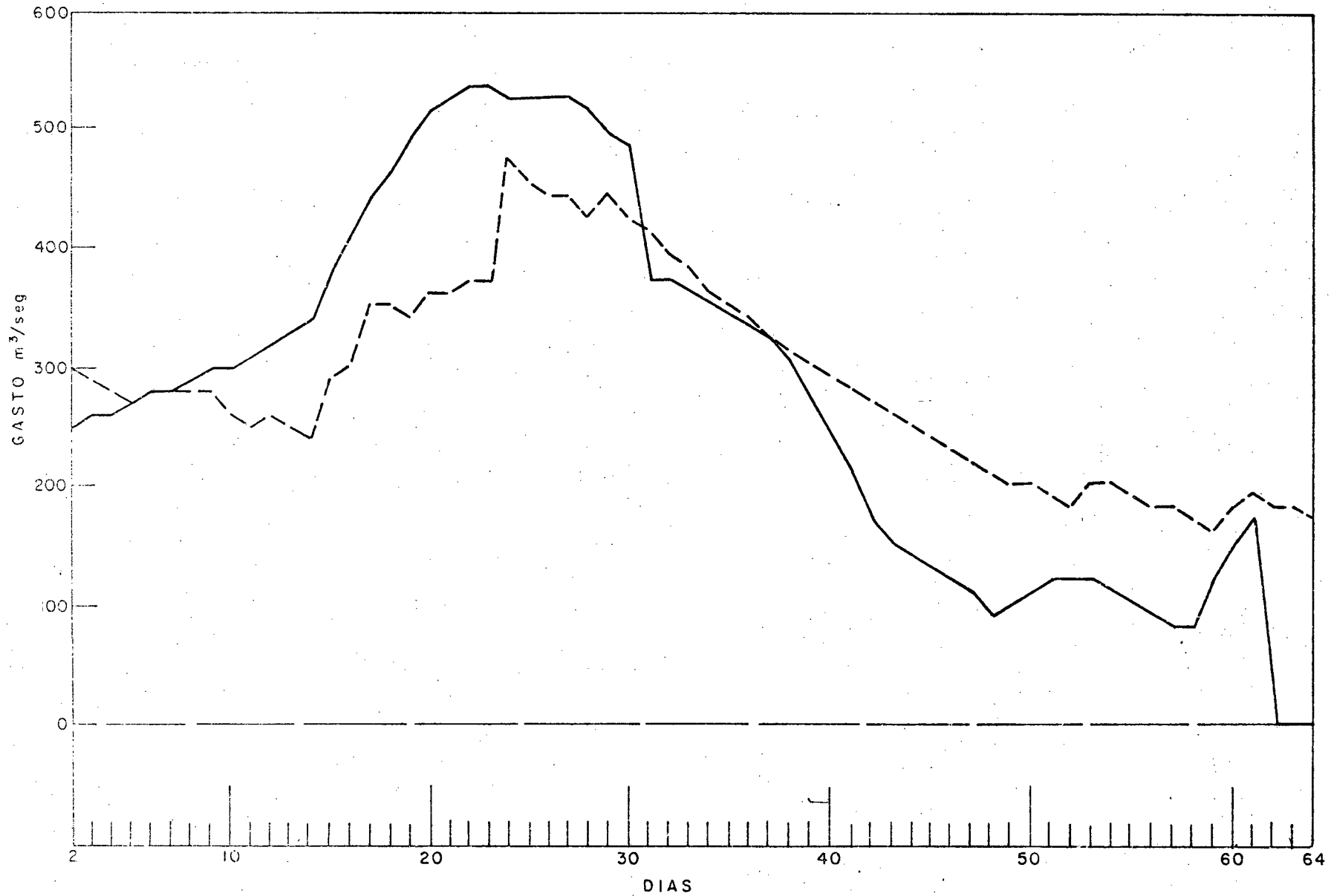


GRAFICO 4

CORRIDAS PREVIAS

AREA = 4.025 Km²

P₁ = 2,04

DATOS DE PRECIPITACION DISTINTOS A LOS CALCULOS EN CUESTION

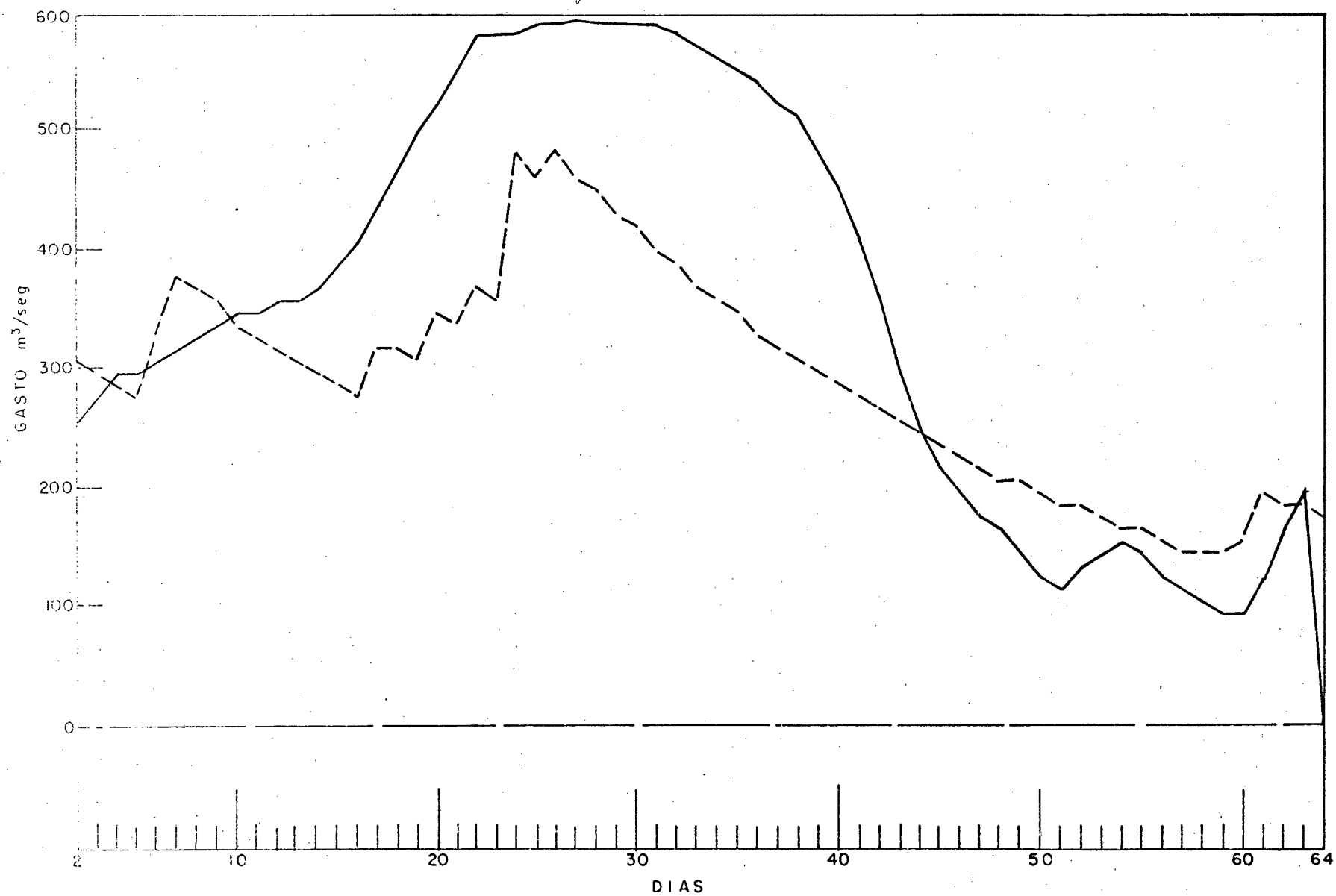


GRAFICO 5

CORRIDAS PREVIAS

AREA = 3.348 Km²

P₁ = 1,2

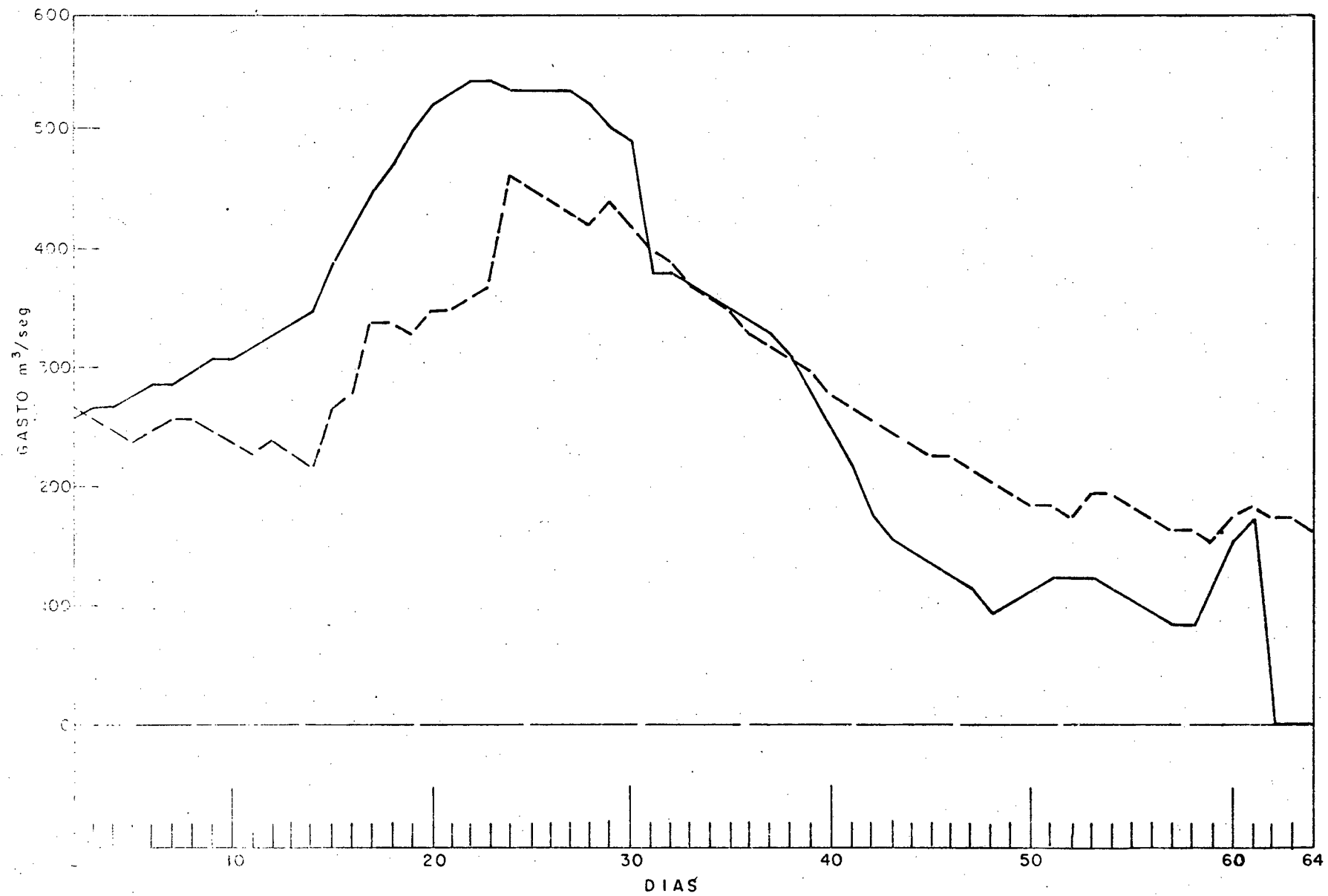


GRAFICO 6

CORRIDAS PREVIAS

AREA = 3.348 Km²

P₁ = 2,4

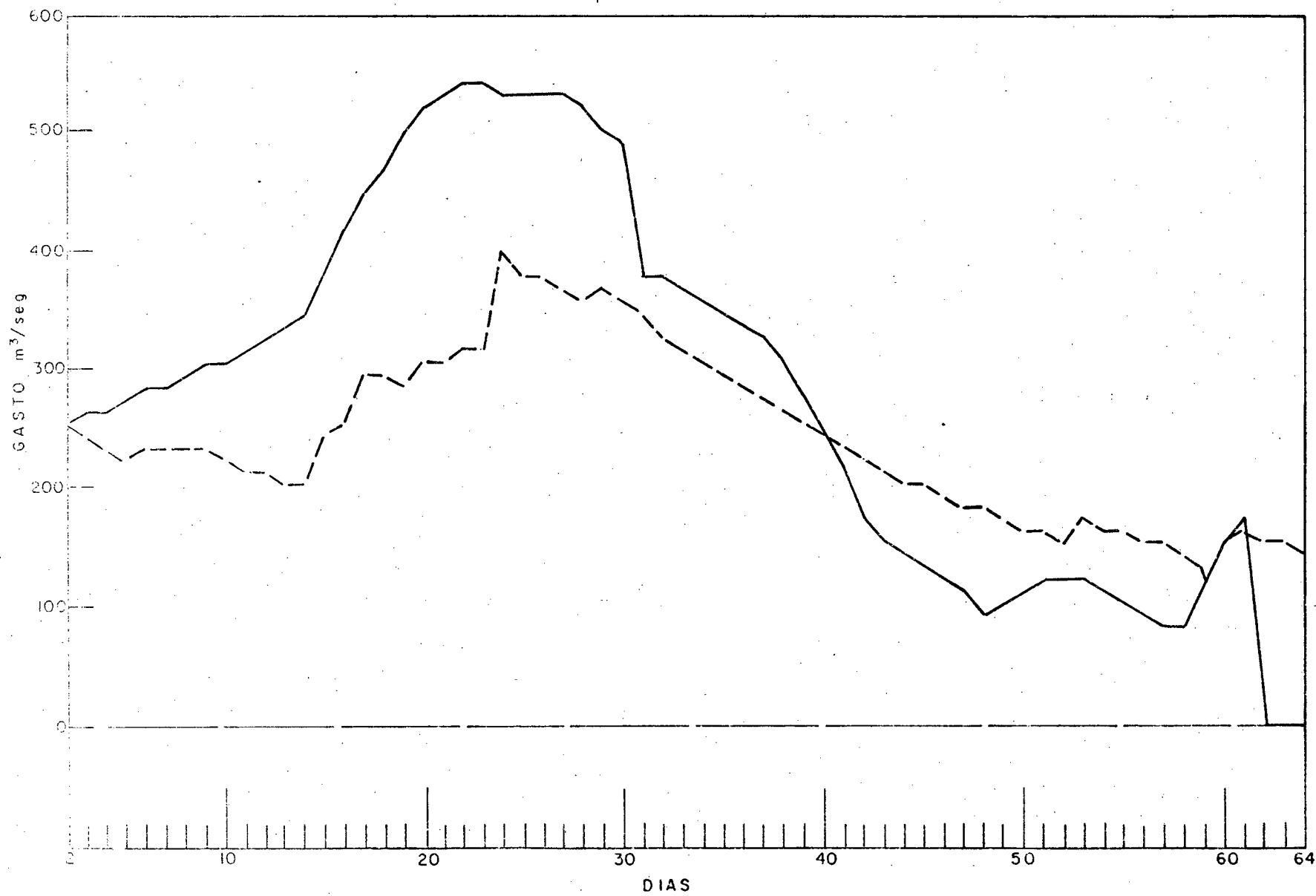
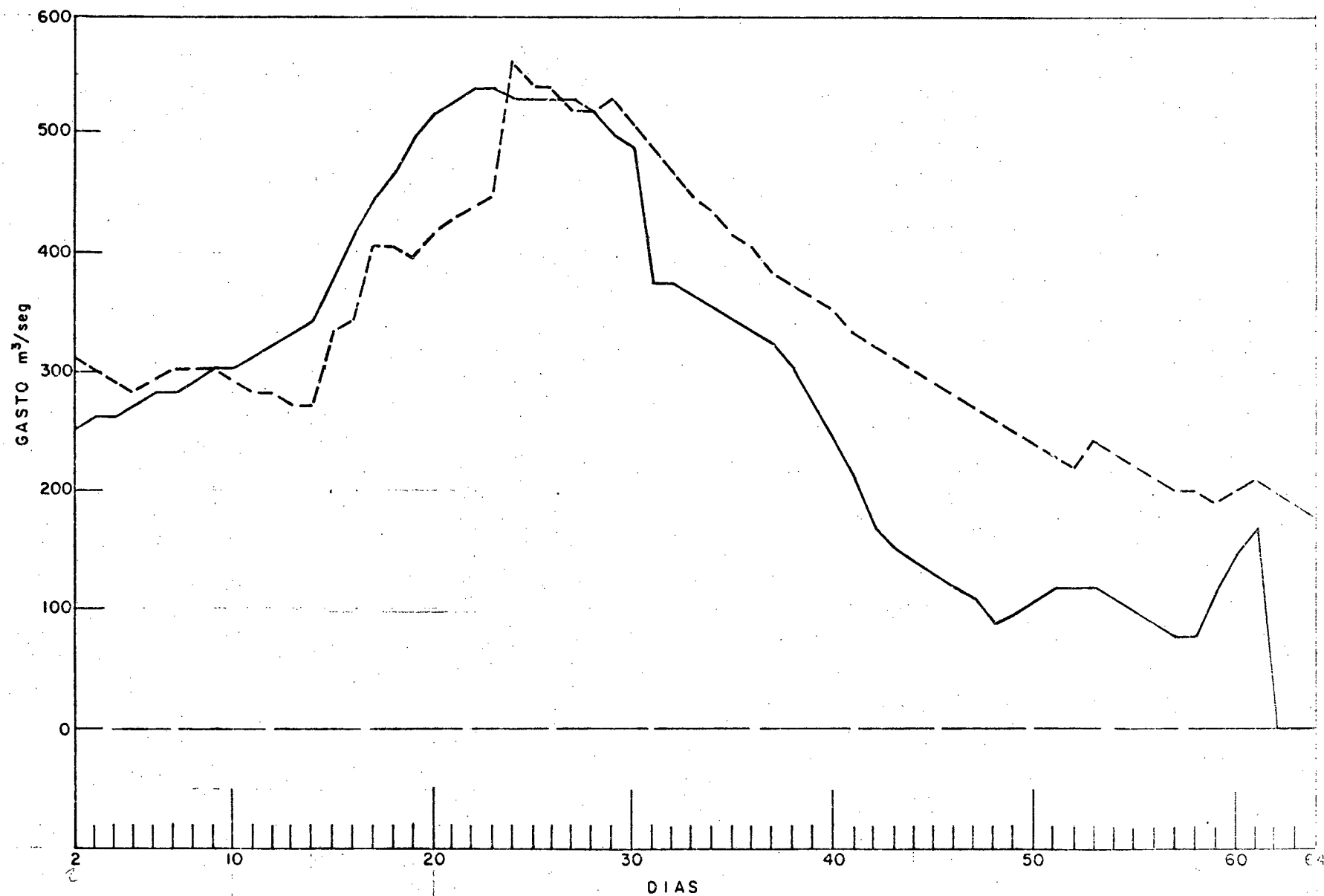


GRAFICO 7

CORRIDAS PREVIAS

AREA = 4.025 Km² P₁ = 2,4

DATOS DE PRECIPITACION BAJO LA CUENCA (RED I),
ESTIMADOS



CALIBRACION

CORRIDA N° 2

(Gráfico 8)

PI = 2.4

P2 = 25

P3 = 30

P4 = 1.5

P5 = 100

S (1) = 80

D.(1) = 80

R (1) = 125

- Simulación antes del pico es deficitaria
- El pico está desfasado
- Hay un exceso de gasto luego de ocurrido el máximo

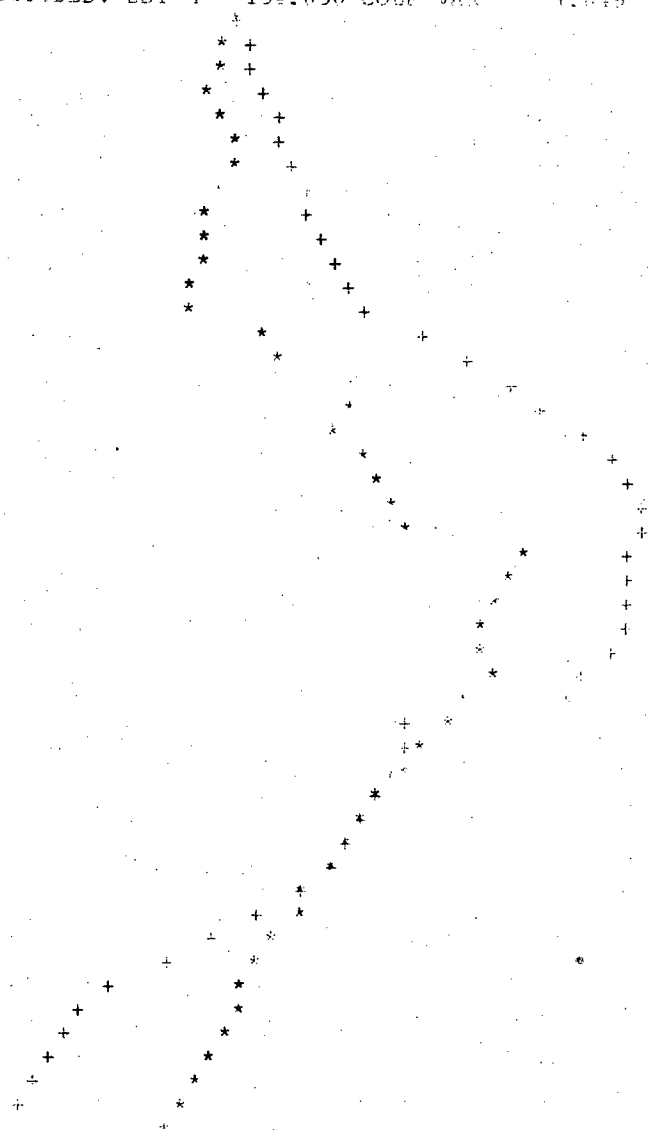
GRAFICO 8

SIMULACION DE UNA GRAN CRECIENTE DEL RIO ESCALANTE

I	FSUP	FBASE	FTOTALS	FTOTALM	DESV-AC
(m)	(m)	(m)	(m³/seg)	(m³/seg)	(m)
2	3.6	3.0	255.6	255.0	4.2
3	2.5	2.0	242.7	242.0	3.0
4	3.6				

MEDIA DE FTOTALS= 276.7 DESV= 130.71 COEF VAR= 2.133

MEDIA-M 286.0 DESV-EST-M 154.690 COEF-VAR 1.819



CALIBRACION

CORRIDA N° 3

(Gráfico 9)

P1 = 5

P2 = 25

P3 = 30

P4 = 1.5

P5 = 100

S (1) = 80

D (1) = 80

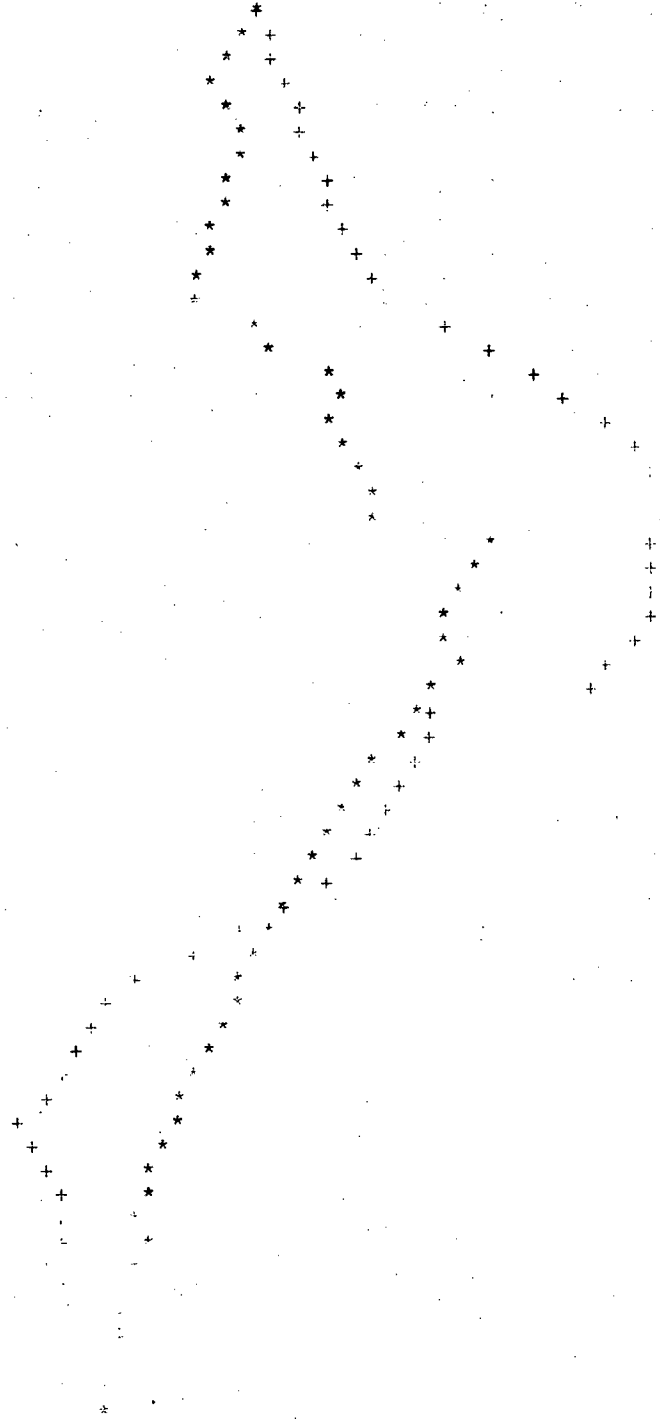
R (1) = 125

- Duplicamos el valor de P1
- Hay una reducción del gasto que se concentra principalmente en el lado de la curva donde los valores son máximos.
- La reducción en los costados de la curva es menor y a medida que nos acercamos a los extremos se hace mínima.
- Máximo desfasado
- Al aumentar la infiltración baja la curva

GRAFICO 9

5.0 25.0 30.0 1.5 30.0 30.0 125.0 100.0 3.7 63.0
DATOS DE PRECIPITACION EN mm) (DATOS DIARIO)
MEDIA DE TOTALES= 253.7 DESV= 149.911 COEF VAR= 1.726

MEDIA-M 286.0 DESV-EST-M 154.690 COEF-VAR 1.849



CALIBRACION

CORRIDA N° 4

(Gráfico 10)

P1 = 2

P2 = 25

P3 = 30

P4 = 1.5

P5 = 100

S (1) = 50

D (1) = 80

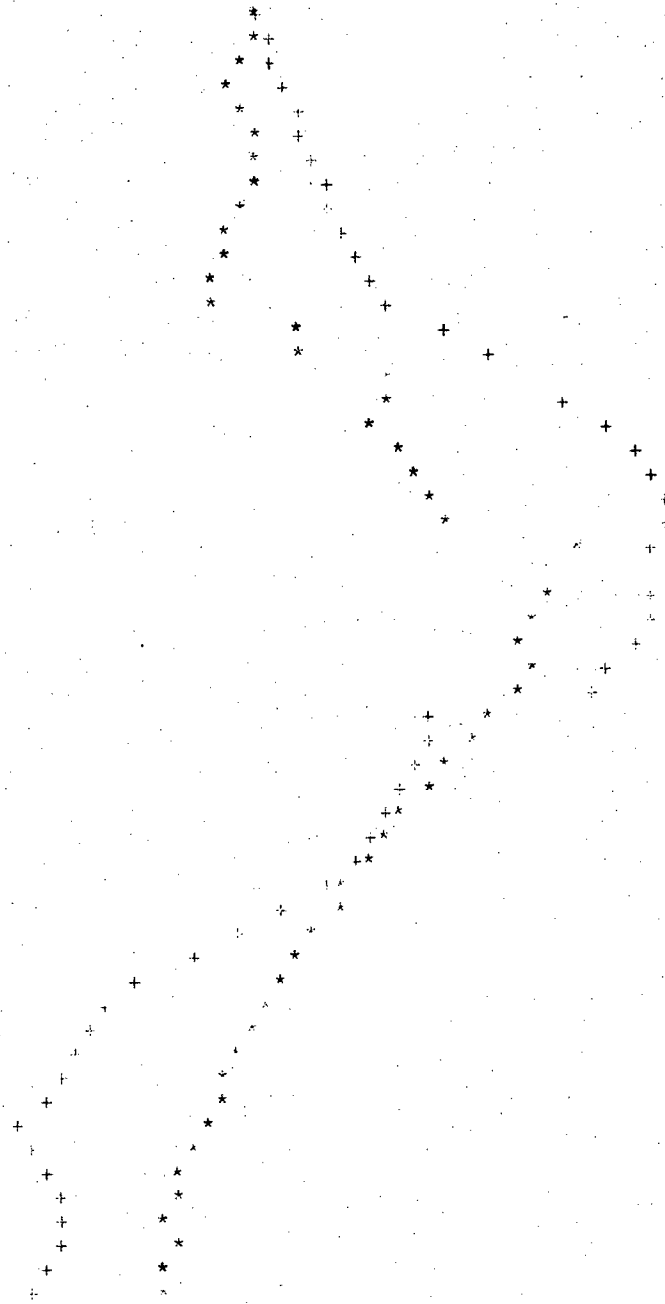
R (1) = 125

- La disminución de P1 hasta 2 nos aumenta globalmente los caudales
- El incremento se hace más ostensible en la zona de mayores caudales
- Los costados de la curva incrementan en menor intensidad y se hace mínimo en los extremos.
- En este caso el costado derecho a pesar de que por ser extremo incrementa menos la curva, sube un poco más en comparación con el lado izquierdo.
- El máximo está desfasado.
- Al disminuirse la infiltración, la curva sube.

GRAFICO 10

MEDIA DE FTOTALS= 286.3 DESV= 173.550 COEF VAR= 1.650

MEDIA=1 286.0 DESV=EST=1 154.690 COEF=VAR 1.349



CALIBRACION

CORRIDA N° 5
(Gráfico 11)

P1 = 2

P2 = 50

P3 = 30

P4 = 1.5

P5 = 100

S (1) = 80

D (1) = 80

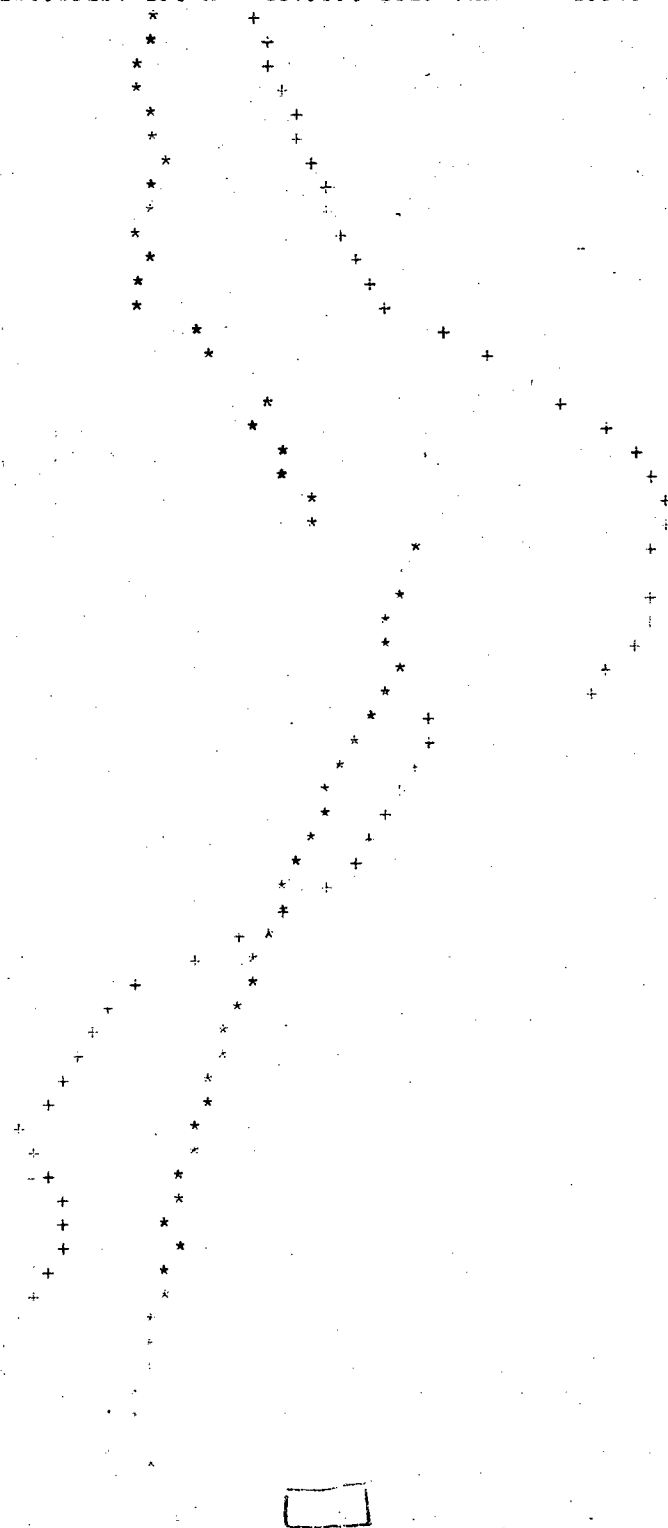
R (1) = 125

- Duplicamos P2 y mantenemos el resto de los parámetros
- Se origina una disminución apreciable haciéndose mas intensa desde el lado de la curva en ascenso hasta el nivel en que la misma llega a un nivel de estabilización, allí la diferencia se hace mínima y en la última fase no altera la configuración de la curva.
- El máximo esta desfasado
- Aumentamos la relación de agua atrapada en la cuenca y baja la curva.

GRAFICO 11

MEDIA DE FTOTALS= 240.8 DESV= 183.355 COEF VAR= 1.313

MEDIA-M 286.0 DESV-EST-M 154.690 COEF-VAR 1.349



CALIBRACION

CORRIDA N° 6

(Gráfico 12)

$$P1 = 2$$

$$P2 = 12$$

$$P3 = 30$$

$$P4 = 1.5$$

$$P5 = 100$$

$$S (1) = 80$$

$$D (1) = 80$$

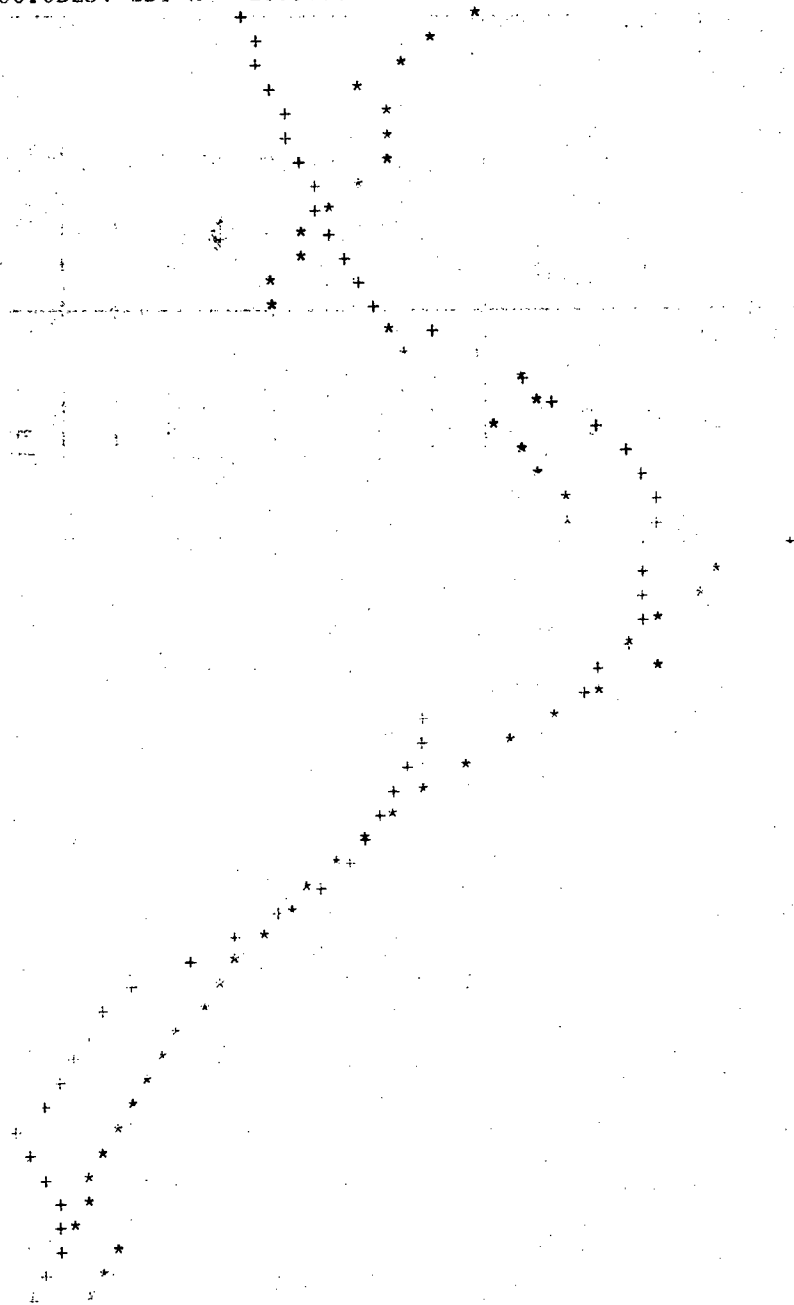
$$R (1) = 125$$

- Aplicamos un $P2 = 12$
- La curva de ascenso y la suma de pico aumentan significativamente su valor
- La curva de recesión en su fase final por el contrario disminuyen cuantitativamente
- El pico se ubica desfasado
- La relación disminuye la cantidad de agua atrapada en la superficie de la curva, por lo que, a excepción de la fase última, la curva sube.

GRAFICO 12

MEDIA DE FTOTALS= 312.1 DESV= 228.904 COEF VAR= 1.364

MEDIA-M 286.0 DESV-EST-M 154.690 COEF-VAR 1.849



1

CALIBRACION

CORRIDA N° 7

(Gráfico 13)

P1 = 2

P2 = 15

P3 = 30

P4 = 1.5

P5 = 100

S(1) = 80

D(1) = 80

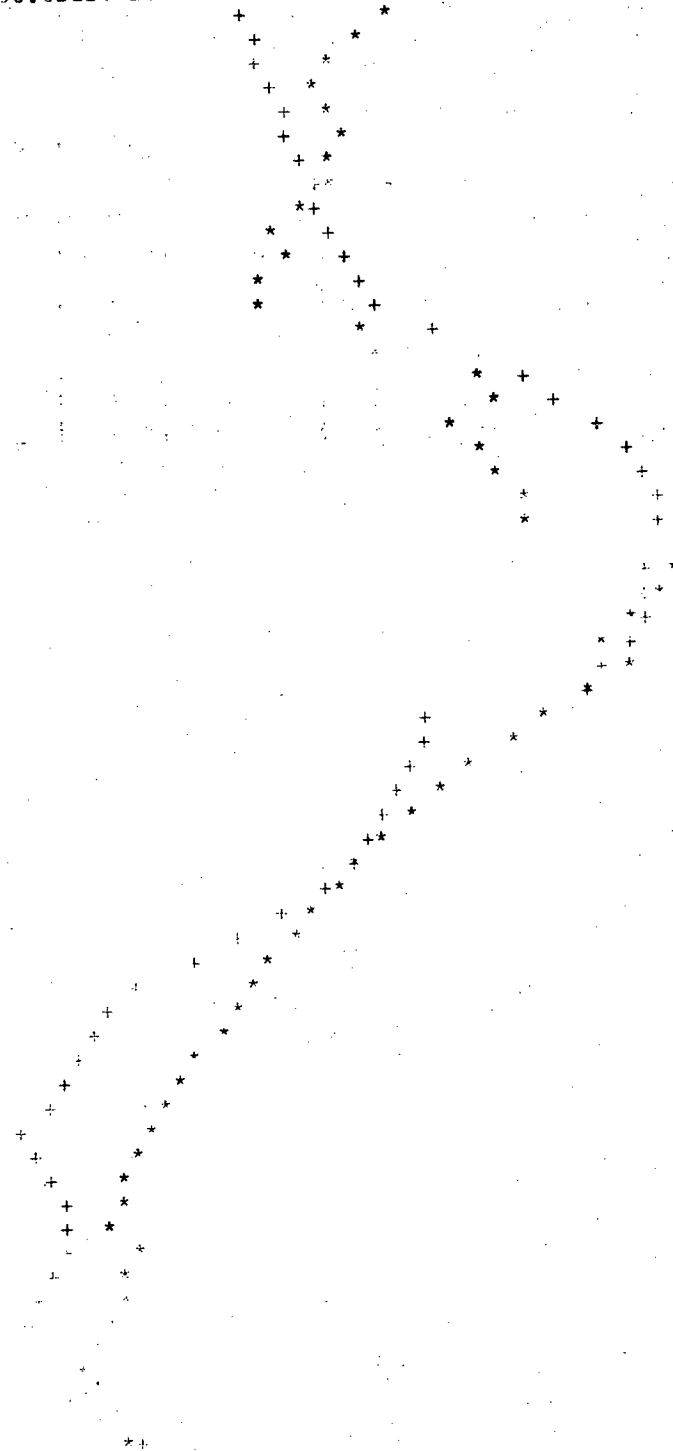
R(1) = 125

- Aumentamos a 15 el valor de P2
- La curva de recesión se hace más coincidente respecto a los valores reales
- La curva de ascenso simulada se acerca a la de valores reales
- El pico está desfasada
- Aumentamos el agua atrapada; la curva baja.

GRAFICO 13

MEDIA DE FTOTALS= 307.2 DESV= 253.713 COEF VAR= 1.187

MEDIA-M 236.0 DESV-EST-M 154.690 COEF-VAR 1.849



[]

CALIBRACION

CORRIDA N° 8
(Gráfico 14)

P1 = 2

P2 = 15

P3 = 30

P4 = 1.5

P5 = 100

S(1) = 80

D(1) = 80

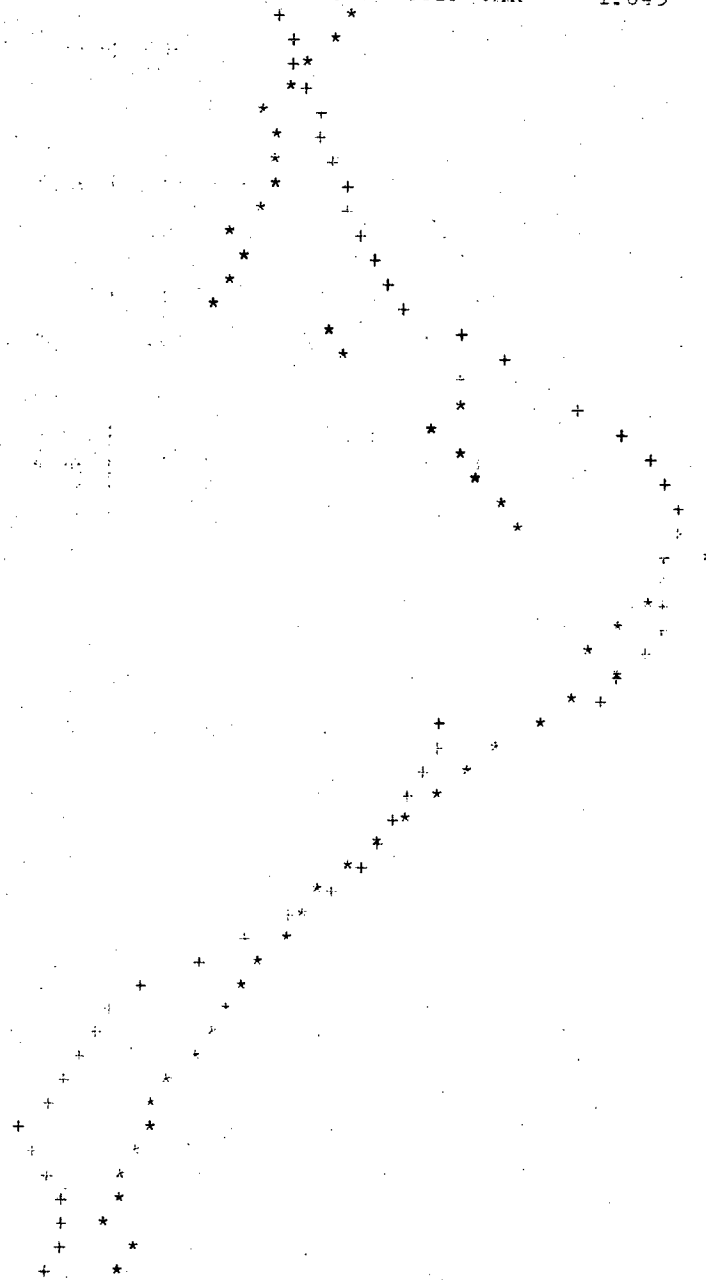
R(1) = 80

- Se modifica R (1) a 80
- Bajó la curva de ascenso hasta el pico
- La curva de recesión permanece prácticamente inmodificable
- Pico desfasado
- Al disminuir R(1) la curva baja.

GRAFICO 14

MEDIA DE FTOTALS= 285.2 DESV= 283.168 COEF VAR= 1.007

MEDIA-M 286.0 DESV-EST-1 154.690 COEF-VAR 1.840



1971

CALIBRACION

CORRIDA N° 9

(Gráfico 15)

P1 = 2

P2 = 15

P3 = 30

P4 = 1.5

P5 = 100

S (1) = 70

D (1) = 70

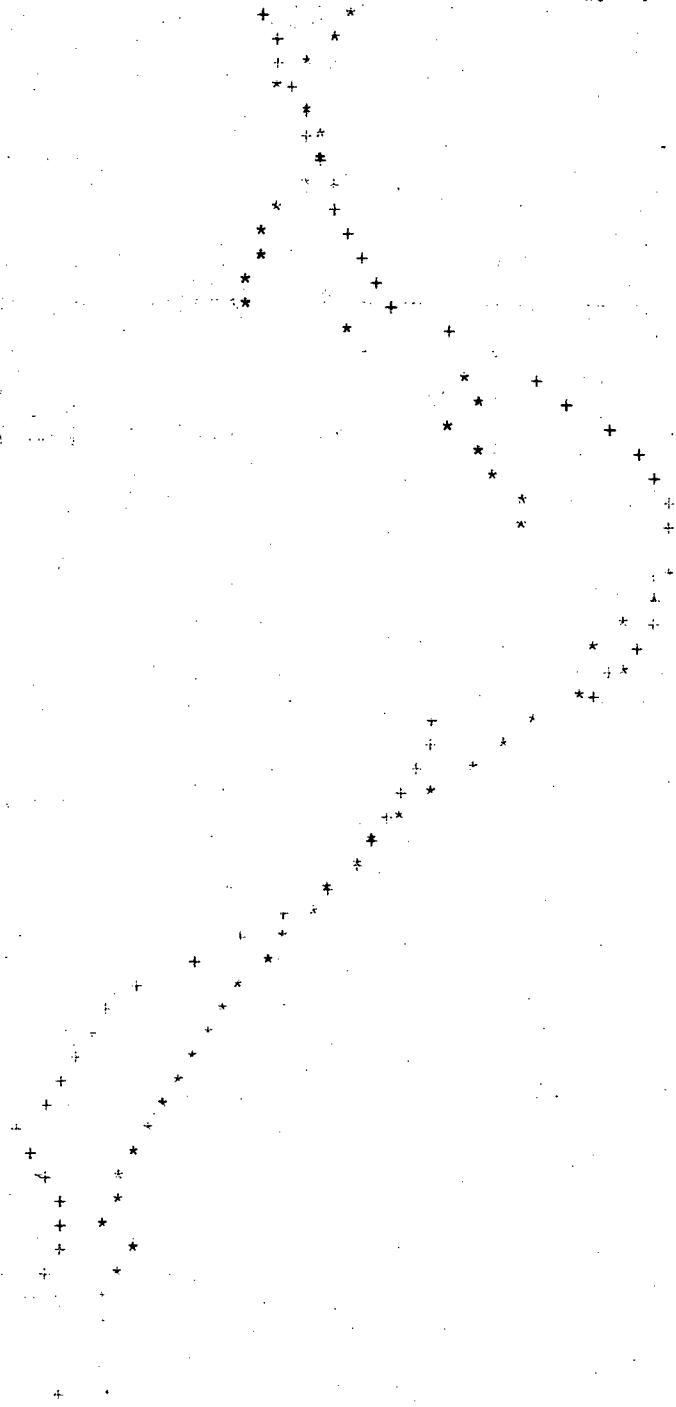
P (1) = 125

- Se modifica S(1), D(1) y R(1)
- Sube la curva de ascenso en una pequeña proporción
- Se acerca el lado de ascenso a los datos reales
- Pico máximo desfasado
- Los extremos suben debido a un aumento de los aportes previo y posteriores.

GRAFICO 15

MEDIA DE FTOTALS= 295.6 DLSV= 306.623 COEF VAR= 0.964

MEDIA-M 286.0DCSV-EST-M 154.690 COEF-VAR 1.049

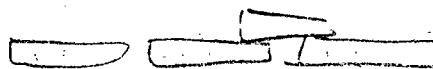
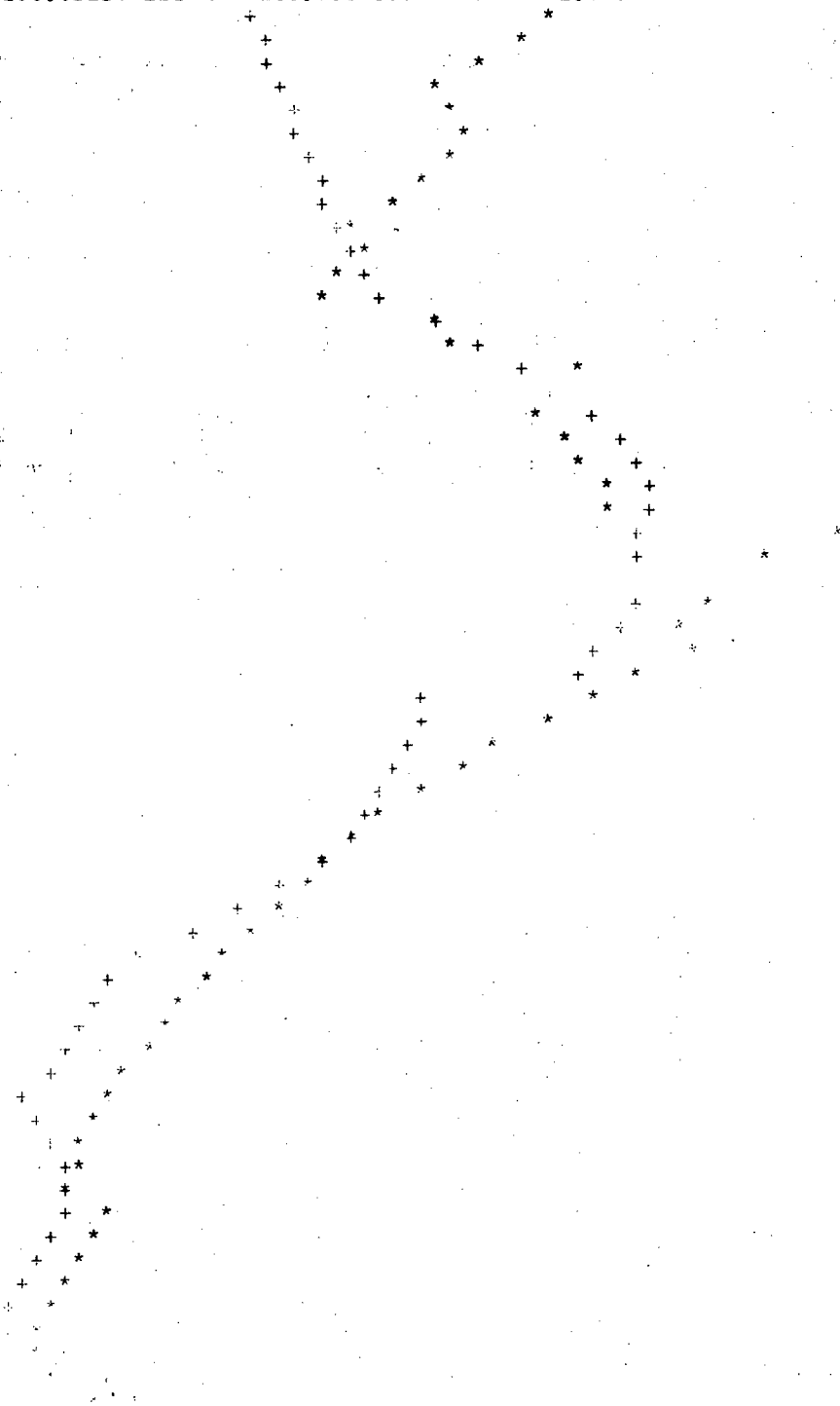


1990 1991 1992

GRAFICO 16

MEDIA DE FTOTALS= 330.0 DESV= 344.535 COEF VAR= 0.958

MEDIA-M 286.0 DESV-EST-M 154.690 COEF-VAR 1.349



CALIBRACION

CORRIDA N° 11

(Gráfico 17)

P1 = 2

P2 = 15

P3 = 20

P4 = 1.5

P5 = 100

S(1) = 80

D(1) = 80

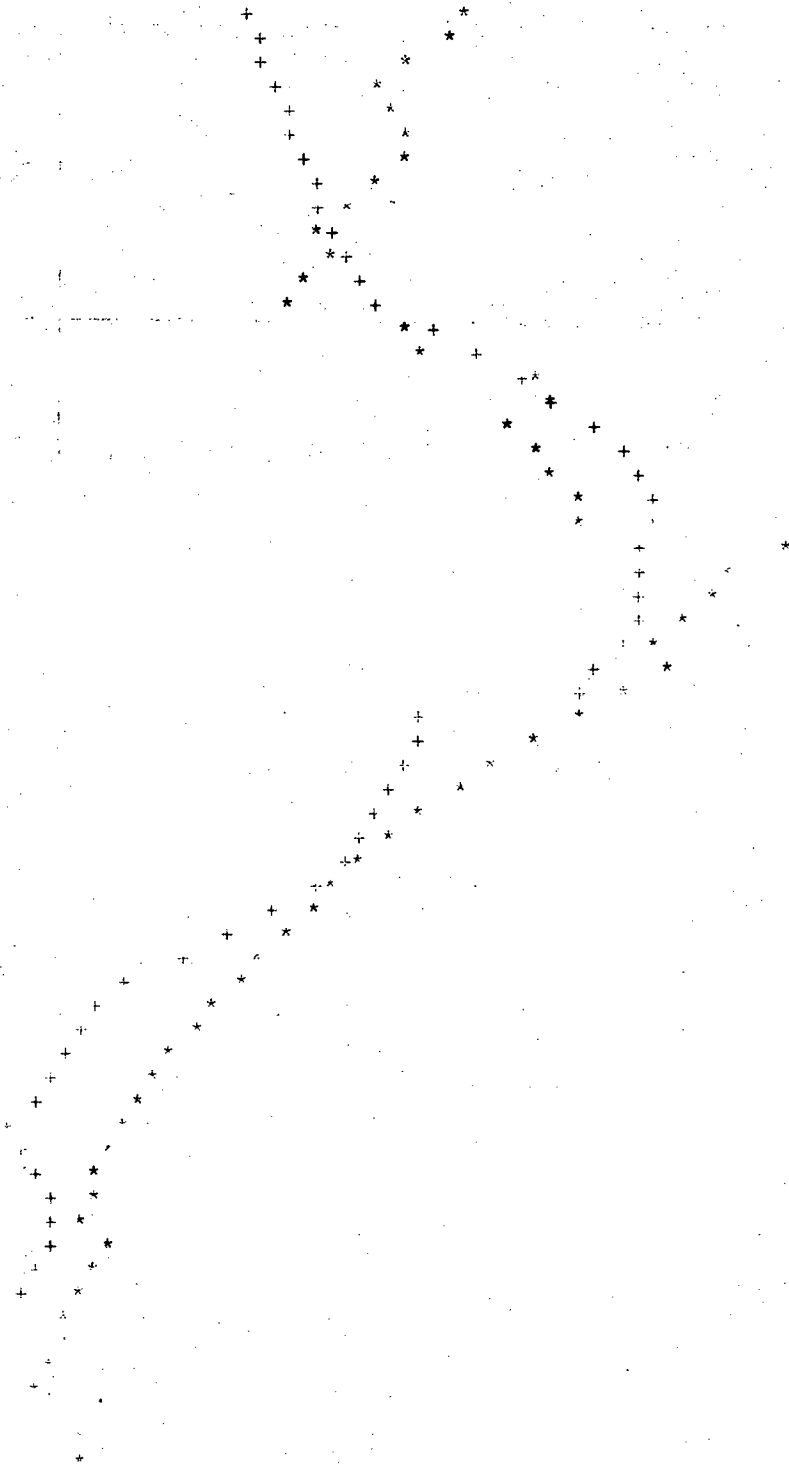
R(1) = 125

- Se modifica el P3
- La curva de ascenso baja con mayor intensidad en el extremo izquierdo (se acerca a lo verdadero)
- La curva de recesión se aleja de los datos en su extremo derecho.
- El desfase del pico máximo disminuye un día respecto a la corrida N° 10
- Se mantiene la forma de la curva
- Disminuimos las contribuciones por concepto de almacenamiento superficial o dentro de la cuenca y disminuye la curva.

GRAFICO 17

MEDIA DE FTOTALS= 322.9 DESV= 372.130 COEF VAR= 0.868

MEDIA-M 236.00 DESV-EST-M 154.690 COEF-VAR 1.349



CALIBRACION

CORRIDA N° 12

(Gráfico 18)

P1 = 2

P2 = 15

P3 = 30

P4 = 1.5

P5 = 110

S(1) = 80

D(1) = 80

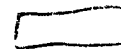
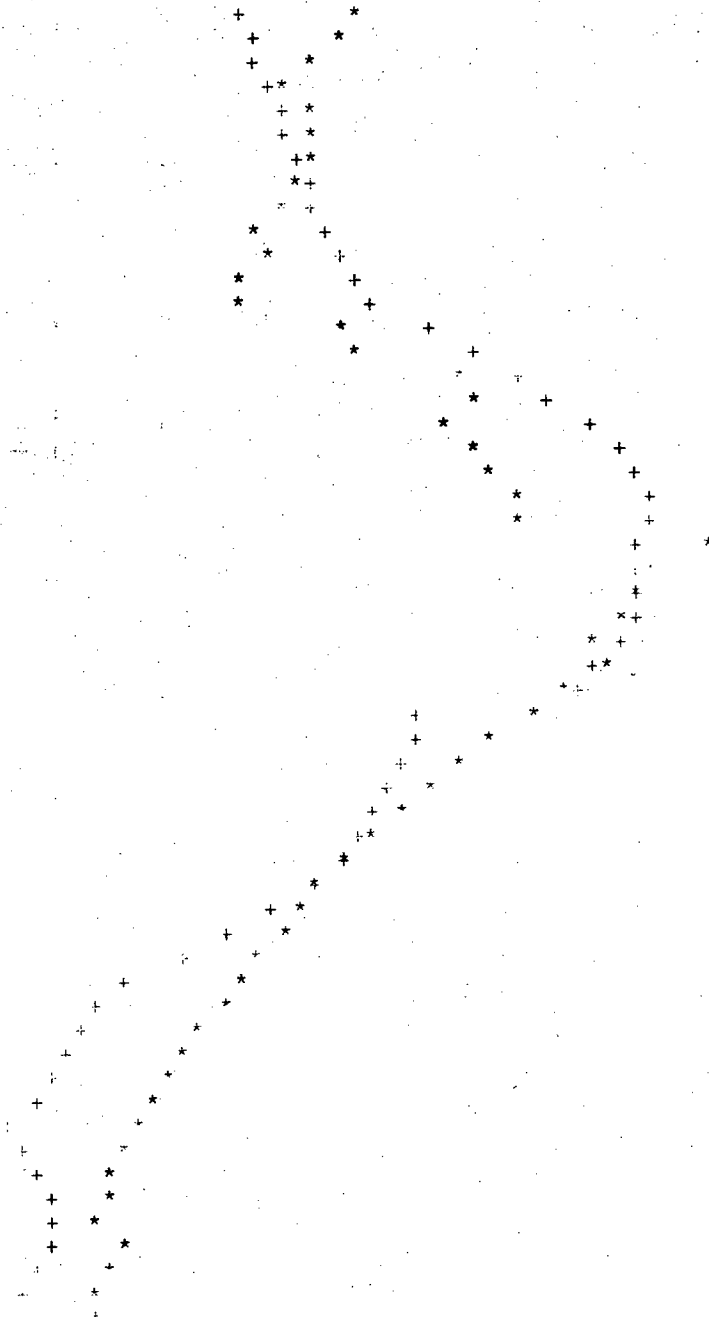
R(1) = 125

- Se modifica P5
- Sube una pequeña proporción el extremo derecho de la curva de recesión
- Los valores en el pico bajan un poco en relación a la corrida anterior
- La curva de ascenso se ajusta en su extremo izquierdo separándose de la realidad desde esa fase y hasta el pico.
- El desfase se mantiene
- Aumentamos la capacidad máxima de almacenamiento subiendo la Fase 1 disminuyendo en Fases 2 y 3, y subiendo la Fase N° 4.

GRAFICO 18

MEDIA DE FTOTALS= 302.3 DESV= 390.760 COEF VAR= 0.774

MEDIA-M 286.3 DESV-EST-M 154.600 COEF-VAR 1.349



OBSERVACIONES ESPECIALES

Una vez realizadas las sucesivas corridas, se escogió el gráfico mostrado con el número 13, debido a que simula más aproximadamente el pico máximo, y dispersa menos la curva de ascenso y la curva de recepción.

Probablemente, con un juego mas detenido de las variables calibrables del modelo, pueda lograrse una aproximación todavía más aceptable a los datos reales. A los efectos de demostrar la bondad del modelo, lo realizado resulta adecuado para ello.

Los cálculos estadísticos realizados no dan peso a las fracciones de la curva que mas nos interesan, siendo la comparación de los mismos uno a uno, poco interesante a los efectos de buscar la simulación mas adecuada.

CONCLUSIONES

- 1.- Las corridas del Modelo "Balance", tomando como base la lluvia media bajo la cuenca en lugar de los datos de una estación asumida como representativa, se aproximan significativamente a los datos reales para el período con que se ha trabajado.
- 2.- El modelo no controla todo el movimiento del hidrograma, lo cual dificulta la calibración del mismo.
- 3.- El modelo podemos considerarlo bastante aceptable en comparación con otras experiencias del país, muchas de ellas fallidas.
- 4.- No se pueden sacar otras conclusiones sobre la bondad del modelo a lo largo de todo el año, y todos los años se puede dar razón de lo que ha ocurrido en este período.
- 5.- La calibración más adecuada fue la mostrada en el Gráfico 13.

RECOMENDACIONES

- 1.- Realizar corridas del modelo con la calibración mostrada, a lo largo de todo un año.
- 2.- Introducir en el modelo parámetros que controlen el movimiento de la curva en algunas secciones del hidrograma. Esto implica sugerir una leve modificación del algoritmo que es la base del modelo.
- 3.- Intentar simular, partiendo de este modelo, los gastos de otras cuencas de características hidrometeorológicas e hidrogeológicas similares de manera que se pueda encontrar la especificidad de la utilidad del modelo para cualquier tipo de cuenca con las características determinadas en esa búsqueda.
- 4.- Parcelar los cálculos de las mediciones estadísticas, de manera que pueda introducirse una calibración automática, partiendo de la comparación de las distintas fases de la misma usando media desviación estándar y coeficiente de variación.

GLOSARIO DE TERMINOS

- 1.- Acuífero de alta transmisibilidad. Es aquel acuífero que presenta alta conducción de agua subterránea (ver transmisibilidad).
- 2.- Acuífero de baja transmisibilidad. Es aquel acuífero que presenta baja conducción de agua subterránea (ver transmisibilidad).
- 3.- Caudal medio diario. Es el promedio de los gastos instantáneos a lo largo de un día.
- 4.- Coeficiente evaporimétrico. Es el coeficiente de ajuste de la evaporación medida en la tina de evaporación.
- 5.- Coeficiente de variación. Relación que existe entre la media y la desviación estándar.
- 6.- Correlación. Grado de relación que existe entre las variables. Varía entre -1 y 1.
- 7.- Desviación estándar. Grado de dispersión de los datos.
- 8.- Evapotranspiración potencial. Es la máxima cantidad de agua que se evaporaría si ésta estuviera presente.
- 9.- Hidrograma. Es la representación gráfica del escurrimiento a lo largo del tiempo.
- 10.- Histograma. Es la representación gráfica de datos mediante un diagrama de barras, muy útil para una primera idea del tipo de fenómeno que se está tratando.
- 11.- Media. Medida de centralización de los datos, que consiste en el promedio de los mismos.
- 12.- Percolación profunda. Es el paso de agua a través del suelo llegando a estratos profundos, no siendo influenciados por la evaporación.
- 13.- Procesos estocásticos aleatorios. Fenómenos donde interviene el azar, en los cuales existen simples variables de incertidumbre; es decir, se admite implícitamente que existe incertidumbre de los resultados del proceso, a pesar que se conozcan los datos de los fenómenos.

- 75 -
- 14.- Regresión múltiple. Relación lineal que permite, conociendo unas Variables X, Y,Z, determinar una variable Q.
 - 15.- Regresión simple. Relación lineal que permite, conociendo una variable X, inferir una variable Y.
 - 16.- Transmisibilidad. Volumen de agua que se escurre por una sección de acuífero de 1 metro de ancho, bajo una pendiente hidráulica unitaria. $T = K.b$
 - 17.- Varianza. Parámetro que mide el grado de dispersión de los datos respecto a la media.

NOTAS

- (1) Modelado de cuencas: Un Arte o una Ciencia. Douglas James, traducción de Ramón J. Guilarte, y publicado originalmente en "Watershed Modeling: An Art or A Science?".
- (2) Trabajo de Angela e Ingrid
- (3) Linslery, R.K., M-KOHLER, J.L.PAULHUS, "Hidrology for Engineers" Mc Graw Hill, New York. 1958.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- JIMENEZ, FREDDY. "Simulación y la Hidrología". MOP.(sin fecha)
- 2.- LINSLEY, R., M- KOHLER, J.L. PAULHUS, "Hidrology for Engineers"
Mc Graw Hill, New York, 1958.
- 3.- YEN TE CHOW, "Water Resources Systems Analysis". Part III. Department of Civil Engineering . University of Illinois. Urbana
Julio, 1969.
- 4.- JAMES, DOUGLAS. "Modelado de Cuencas: Un Arte o Una Ciencia?
Traducción de Ramón J. Guilarte . 16/ 02/ 1972.

FE DE ERRATAS

Notas:

- (2) GONZALEZ, Angela; RODRIGUEZ, Ingrid. Trabajo final de la materia METEOROLOGIA FISICA.
- (3) LINSLEY, R.K.; M-KOHLER; J.L. PAULHUS, "Hidrology for Engineers" Mc Graw Hill, New York. 1958

Bibliografía:

- 3.- VEN TE CHOW, "Water Resources Systems Analysis". Part III. Department of Civil Engineering. University of Illinois. Urbana Julio, 1969.